

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ПРИЛАДОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ **Юрій КИРИЧУК**

«__» _____ 2020 р.

Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані
технології та системи точної механіки»
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології»
на тему: «Комп'ютерно-інтегрована система відтворення зразкових
відносних деформацій»

Виконав:

студент IV курсу, групи ПМ-61

Гладишко Андрій Павлович _____

Керівник:

Ст. викл.

Зайцев Віктор Миколайович _____

Консультант з _____

Рецензент: _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Приладобудівний факультет

Кафедра приладобудування

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані технології та системи точної механіки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

«__» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Гладишко Андрію Павловичу

1. Тема проєкту «Комп'ютерно-інтегрована система відтворення зразкових відносних деформацій», керівник проєкту Зайцев Віктор Миколайович ст. викл., затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом проєкту 11.06.2020

3. Вихідні дані до проєкту: 3.1. Тип установки – стенд чистого згину; 3.2. Тип пружного елемента – балка рівного перерізу; 3.3. Діапазон деформацій, які задаються ± 3000 о.в.д.; 3.4. Похибки відтворення інформації, не більше ± 10 о.в.д.; 3.5. Точність вторинних перетворювачів $\pm 0.01\%$; 3.6. РКП вимірювального перетворювача 2,0 мВ/В; 3.7. Тип відліку – цифровий; 3.8. Живлення 220 В, 50 Гц, потужність $P \leq 5$ Вт.

4. Зміст пояснювальної записки: 4.1. Огляд аналогів об'єкту проектування; 4.2. Розробка принципів схем установки; 4.3. Розробка пружного елемента; 4.4. Розрахунок пружного елемента вимірювального перетворювача деформації; 4.5. Розробка прогиноміра; 4.6. Розробка

методик градування вимірювального перетворювача деформацій; 4.7. Розробка методик передачі одиниці деформації; 4.8. Аналіз точності вимірювання деформації; 4.9 Технологічна частина проєкту.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): Формат А1 – стенд перетворення деформація-вигин(складальний кресленик); формат А1 – Прогиномір(складальний кресленик); формат А1 – Стенд перетворення деформація-вигин(кінематична та структурна схеми); формат А1 – Лист графічних залежностей.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологічний	Антонюк Віктор Степанович, Д.Т.Н., професор		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Одержати у керівника дипломного проєкту (ДП) затвердженого завідувачем кафедри завдання на ДП	30 квітня 2020 р.	
2.	Виконання пояснювальної записки ДП	05 червня 2020 р.	
3.	Виконання технологічного розділу ДП, передача на перевірку та одержання підпису консультанта	05 червня 2020 р.	
4.	Виконання графічних матеріалів ДП	08 червня 2020 р.	
5.	Подання керівнику для перевірки: ДП та тексту його остаточного варіанту в електронному вигляді, одержання відгука на ДП	09 червня 2020 р.	
6.	Одержання рецензії на ДП	10 червня 2020 р.	
7.	Подання ДП на кафедру, одержання грифу «До захисту допущено» у завідувача кафедри	11 червня 2020 р.	
8.	Подання ДП, відгука та рецензії в екзаменаційну комісію університету	14 червня 2020 р.	
9.	Захист дипломного проєкту в	18 червня 2020 р.	

	екзаменаційній комісії університету		
--	-------------------------------------	--	--

Студент

Андрій ГЛАДИШКО

Керівник

Віктор ЗАЙЦЕВ

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт містить: 73 с., 6 табл., 23 рис., 3 дод. та 20 джер.

Сьогодні прилади та системи вимірювання деформації широко використовуються у багатьох країнах у різних сферах виробництва. Вони є одним із перспективних напрямків розвитку наукового та технічного процесу багатьох розвинутих держав.

Стан техніки вимірювання деформацій характеризується серійним виробництвом робочих засобів вимірювань (ЗВ), серед яких широке розповсюдження мають тензометри, датчики деформацій, тензорезистори, вторинна тензометрична апаратура - вимірники деформацій, тензометричні вимірювальні системи.

Прилади для вимірювання деформацій набули великого розповсюдження як ефективний засіб контролю міцності на стадіях проектування, доведення і експлуатації машин, апаратів і споруд, при рішенні задач автоматизації процесів і технічної діагностики.

Тому вдосконалення системи метрологічного забезпечення цих вимірювань має важливе народногосподарське значення. Найширше розповсюдження для вимірювання деформацій в даний час знайшли тензорезистори. Визначення метрологічних характеристик тензорезисторів здійснюється при випуску їх з виробництва і в процесі експлуатації, після закінчення гарантійного терміну зберігання, при використуванні нерегламентованих типів зв'язуючого, перед проведенням особливо відповідальних вимірювань і в інших випадках.

Наявність великого числа виготівників і споживачів тензорезисторів, що мають потребу у визначенні їх метрологічних характеристик, з одного боку, і відсутність централізованого виробництва засобів перевірки тензорезисторів з другого боку, привели до створення і використування різноманіття засобів визначення метрологічних характеристик тензорезисторів.

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

Thesis project contains: 73 pages, 6 tables, 23 figures, 3 appendices. and 20 links

Today, deformation measuring instruments and systems are widely used in many countries in various fields of production. They are one of the promising areas of scientific and technical development of many developed countries.

The state of the art of measuring deformations is characterized by serial production of working measuring instruments (ME), among which strain gauges, strain sensors, strain gauges, secondary strain gauge equipment - strain gauges, strain gauges are widespread.

Devices for measuring deformations have become widespread as an effective means of controlling the strength at the stages of design, finishing and operation of machines, devices and structures, in solving problems of process automation and technical diagnostics.

Therefore, the improvement of the system of metrological support of these measurements is of great economic importance. Tensor resistors are now the most widely used for measuring deformations. Determination of metrological characteristics of strain gauges is carried out at their release from production and in the course of operation, after the expiration of a warranty period of storage, at use of unregulated types of binder, before carrying out especially responsible measurements and in other cases.

The presence of a large number of manufacturers and consumers of strain gauges, which need to determine their metrological characteristics, on the one hand, and the lack of centralized production of tensor resistors on the other hand, led to the creation and use of a variety of metrological characteristics of strain gauges.

					<i>ПЗ ПМ6103.000</i>	Арк
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

1. Проектно - конструкторський розділ.....	10
1.1. Стан техніки вимірювання деформації	10
1.2. Огляд методів вимірювання деформації.....	11
1.3. Огляд засобів вимірювання деформації	14
1.4. Огляд тензорезисторних тензометрів переміщень прогиномірів ...	18
1.5. Будова та принцип роботи установки вищої точності(УВТ)	21
1.6. Опис кінематичної схеми стенду і короткий опис ЗВ, що входять в складмУВТ.....	23
1.7. Вибір балки чистого вигину	25
1.8.Розрахунок відносної деформації виходячи з теорії чистого вигину.....	26
1.9. Склад і принцип дії прогиноміра.....	30
1.10. Програма градування прогиноміра в залежності від прогину балки чистого вигину.....	33
1.11. Розробка принципових схем вимірювального перетворювача деформації.....	37
1.12. Опис мостової схеми підключення тензорезисторів.....	39
1.13. Розрахунок основних геометричних параметрів перетворювача.....	43
1.14. Розрахунок статичної характеристики вимірювального перетворювача.....	47
1.15. Дослідження похибки передачі розміру одиниці деформації.....	50
1.16. Перспективи подальшого вдосконалення установки.....	55
Висновки до розділу 1.....	56
2. Технологічний розділ.....	57
2.1. Вибір технологічної одиниці.....	57

					<i>ПЗ ПМ6103.000</i>	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

2.2	Визначення основних показників технологічності	58
2.3.	Визначення додаткових показників технологічності.....	60
2.4.	Визначення комплексного показника технологічності виробу....	62
2.5.	Схема складального складу.....	62
2.6.	Технологічна схема складання.....	65
2.7.	Розрахунок параметричної точності складання.....	67
2.8.	Висновки до розділу 2.....	71
Список використаних джерел.....		72

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- $УВТ$ - установка вищої точності
- $ЗВ$ - засоби вимірювання
- ε - відносна деформація
- $о.в.д.$ - одиниці відносної деформації
- $ПЧЕ$ - пружний чутливий елемент
- $ТР$ - тензорезистори
- E - модуль пружності
- σ - механічна напруга
- h - товщина балки, мм
- p - прогин балки, мм
- ΔL - відносне видовження балки, мм
- L - база прогиноміра, мм
- R_0 - радіус вигину балки, мм
- $ЕОМ$ - електронно-обчислювальна машина
- $РКП$ – робочий коефіцієнт перетворення

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Проектно - конструкторський розділ

1.1. Стан техніки вимірювання деформації

При проектуванні, розрахунку і використанню машин, споруд і конструкцій велике значення надають властивості матеріалів, які застосовуються. Коли знають властивості матеріалу, то можуть визначити здатність вузлів і деталей витримувати навантаження(зовнішні дії) без руйнування. Однією із основних фізичних ознак навантаження об'єкта є визначення його форми і розмірів, котрі характеризують механічну деформацію.

Передбачають, що для більшої кількості матеріалів має справедливість закон Гука, який має на увазі встановлення прямопропорційної залежності між деформацією і навантаженням. Так само як і закон Гука, встановлюється залежність між механічною напругою (σ) і деформацією (ε) здебільшого для конструкційних матеріалів є лінійною функцією з параметром, який називається модуль пружності (E).

$$\sigma = \varepsilon E. \quad (1.1)$$

То ж, якщо ми знаємо модуль пружності деякого матеріалу і вимірявши його деформацію, ми можемо вирахувати відповідну напругу.

Взаємозв'язок, котрий представлений формулою (1.1), став лежати в основі при розробці великої кількості методів експериментального визначення напружено-деформованого стану вузлів конструкцій і машин, котрі ми можемо виділити в такі групи: поляризаційно-оптичні, рентгенівські, муарових смуг, гальванічних і крихких покриттів і методи, які засновані на перетворенні деформації поверхні об'єктів досліджень за допомогою тензометричних перетворювачів і тензометрів[1].

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Огляд методів вимірювання деформації

Засобів вимірювання деформацій, які беруть участь у різних галузях народного господарства, включає багато видів тензометрів, тензорезисторів, вимірників деформацій і вторинної вимірювальної апаратури закордонного і вітчизняного виробництва.

Тензометри, які використовуються для вимірювання лінійних деформацій мають велике розповсюдження для випробувань конструкцій і вимірювання механічних властивостей матеріалів. Використовуються механічні важельно-лімбові, важіль-стрілочні і індикаторні тензометри; електромеханічні тензорезисторні тензометри; оптико-механічні призматичні тензометри. Нижче приводиться огляд тензометрів деяких типів, а також деяких методів тензометрирування.



Рис. 1.1. Класифікація методів тензометрирування

Багато методів тензометрії використовуються при вимірюванні напружно-деформованих станів деталей, в їх основі лежать різні фізичні принципи вимірювань. Існують такі методи: методи фото пружності, рентгенівські методи, муарових смуг, крихких покриттів, гальванічних

покриттів і методи з використанням тензометричних перетворювачів (рис. 1.1.).

В основі рентгенівського методу вимірювання лежить явище інтерференції рентгенівського проміння, яке проходить через кристалічні ґрати матеріалу що досліджується.

В методі крихких покриттів лежить ефект, заснований на створенні тріщин під дією прикладених навантажень. Покриття наносять на об'єкт дослідження завчасно, а після висихання в покритті утворюються остаточні напруги, котрі і сприяють утворенню тріщин, навіть при незначних деформаціях. Цей метод здебільшого використовують для дослідження зони найбільших напруг. Погрішність визначення деформацій цим методом становить 10 - 20%, тому його використовують тільки для оціночних вимірювань, більш точні результати отримують при застосуванні інших засобів точного тензметрування.

Метод гальванічних покриттів має на меті утворення темних плям на мідному гальванічному покритті, котре наноситься на досліджуваний об'єкт. Цей метод у більшій мірі використовують під час циклічного навантаження на об'єкт. Коли відомі хімічний склад гальванічного покриття, число циклів навантаження, модулі пружності матеріалу об'єкту, визначається мінімальне значення напруги, під час дії якої темні плями з'являються на гальванічному покритті. Іншими словами, число циклів навантаження і відповідна циклам навантаження значення напруги, являються взаємозв'язаними величинами.

В основі методу фотопружності використовується явища подвійного променезаломлення у прозорих матеріалів під час дії механічних напружень. Під час цього значення величини подвійного променезаломлення пропорційна значенню деформації об'єкта, яке і визначається порядком інтерференційних смуг при просвічуванні матеріалу поляризаційним світлом.

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевагами цього методу є висока точність вимірювання і є можливість вимірювати напружений стан всієї поверхні деталі при візуальному контролі.

Проте описаний вище метод має суттєвий недолік, суть в тому, що вимірювання проводяться на моделях і це дає деякі труднощі під час випробуванні об'ємних моделей.

Суть методу муарових смуг полягає в муаровому ефекті, суть якого базується на появі чергуючихся темних і світлих смуг під час накладенні одній на іншу двох чи більше растрових сіток. Крок муарових смуг визначають параметрами початкових розчинів і умовами їх освітлення. Один з растрів наноситься на випробувальний об'єкт, який деформується разом з ним. Муарова картина містить в собі інформацію про деформований стан зразка, а також про характер деформування растру. При невеликих відносних деформаціях, кутових і лінійних переміщеннях сіток спостерігають значні зміни кроку, положенню і напрямку виникаючих муарових смуг. Цей метод застосовується для натуральних об'єктів, а також для моделей цих об'єктів. Муарові смуги наносяться за допомогою фотоплівки знімаючимся емульсійним шаром, або фотохімічним методом шляхом тиснення. До переваг даного методу можна віднести можливість вимірювання деформацій на великих поверхнях а також при високій температурі.

Метод голографічної інтерферометрії заснований на використанні когерентних джерел світла, використовується для вимірювання полів малих переміщень точок поверхні матеріалів і елементів конструкцій[2].

1.3. Огляд засобів вимірювання деформації

При вимірюваннях напруги великого розповсюдження набули тензометри, які засновані на застосуванні тензометричних перетворювачів: оптичні механічні, струнні (акустичні), пневматичні і електричні. Нижче приводиться огляд тензометрів різних конструкцій і типів і короткий опис принципу їхньої дії.

Механічні тензометри засновані на масштабному перетворюванні деформації за допомогою механічної передачі до величини, яка зручна для подальшої реєстрації. З цією метою використовуються важіль-зубчаті передачі важелів.

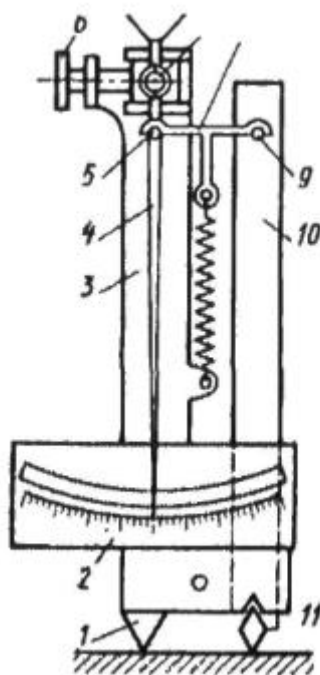


Рис. 1.2. Важільний тензометр Гугенбергера

1 - призма; 2 - дзеркальна шкала; 3 - корпус; 4 - стрілка тензометра; 5, 9 - штифти; 6 - гвинт; 7 - підшипник; 8 - траверсу; 10 - важіль двоплечевий; 11 - рухома призма.

На рис. 1.2. представлений важільний тензометр Гугенбергера, який використовується виключно для вимірювання статичної деформації. Рухома

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

призма є одним з двох кінців двоплечового важеля. Тензометр закріплюється на об'єкті для досліджень з використанням струбинок, магнітів або вакуумних присосів. Відстань між призмами така ж, як і база тензометра. В тензометрі Гугенбергера з базою в 20 мм похибка становить близько 15 овд. Механічні тензометри зазвичай застосовуються для попередньої оцінки розподілу деформацій на заданому об'єкті.

Для перетворення деформацій в оптичних тензометрах використовують оптичний промінь в зручну для реєстрації величину. При цьому відлік можна проводити по переміщенню світлової плями на шкалі, як це показано на рис. 1.3.

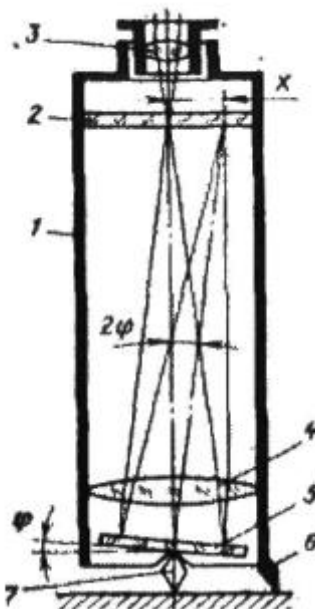


Рис. 1.3. Схема оптичного тензометра з автоколлімаційним дзеркальним відліковим пристроєм

1 - труба; 2 - шкала; 3 - окуляр; 4 - об'єктив; 5 - поворотне дзеркало; 6 - нерухома призма; 7 - рухома призма.

Оптичні тензометри, призначені для вимірювання великих деформацій, засновані на базі фотоелектричних датчиків. В цьому випадку деформація перетвориться на електричний імпульс. Схема оптичного

тензометра з фотодіодами представлена на рис. 1.4. Важелі 7, вісь обертання котрих знаходиться в корпусі тензометра 4, закріплені на зразку 6 затисками 5. На одному з важелів закріплена зчитуюча голівка 1, в якій розміщені джерело світла і фотодіод, а на другому важелі - прозора шкала 3 з штрихами 2. Під час дії деформації об'єкта зчитуюча голівка переміщується вздовж шкали, а з фотодіода поступають імпульси (число яких пропорційно деформації) на вторинну апаратуру,.

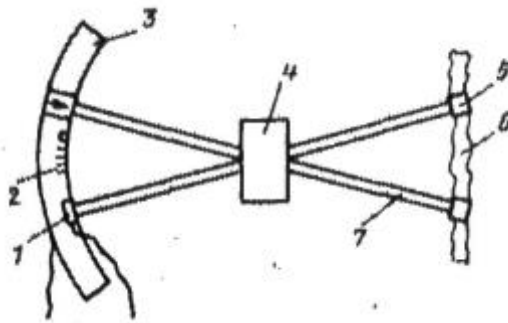


Рис. 1,4, Схема оптичного тензометра з фотодіодом

Точність вимірювання залежить від числа розподілів на шкалі і тому габарити такого пристрою мають бути більші, оскільки треба збільшувати розміри шкали і довжину важелів.

Конструкція струнного тензометра показана на рис. 1.5. Над струною встановлюється електромагніт для збудження коливань в струні при проходженні по його обмотці електричних імпульсів. Частоту коливань струни виміряють за рахунок сигналу, який знімається з обмотки електромагніту.

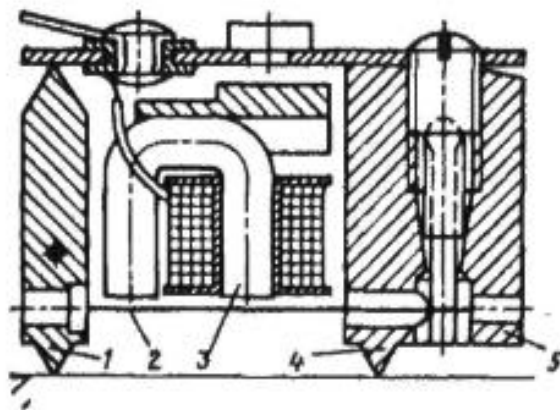


Рис. 1.5. Струнний тензометр

1 - рухома призма; 2 - феромагнитна струна; 3 - електромагніт; 4 - нерухома призма; 5 - корпус.

Струнний тензометр являється частотним пристроєм. Для знімання значень зміни частоти, яка викликається деформаціями об'єкта, застосовують цифрові лічильники або частотні дискримінатори. Похибка вимірювання струнних тензометрів 1 о.в.д.

Струнні тензометри використовують для вимірювання як статичних, так і динамічних деформацій, через їхню велику точність і різноманіття схем обробки частотно-модульованих сигналів.

В принцип роботи електричних тензометрів встановлюється принцип вимірювання зміни параметрів електричного ланцюга, як приклад опору місткості або індуктивності. Електричні тензометри ділять на тензометри індуктивні, опору, п'єзоелектричні, ємнісні та індукційні.

Дія механотронних тензометрів ґрунтується на використанні ефекта зміни внутрішнього опору вакуумної газонаповненої або електронної лампи під дією деформації при зміні відстані між електродами.

В індуктивних тензометрах виконується зміна реактивного опору котушки під дією деформації. Розрізняють індуктивні тензометри тензометри

з повздовжнім переміщенням якоря, при якому змінюється об'єм сердечника в порожнині котушки, з поперечним переміщенням якоря, в якому змінюється зазор в магніто проводі, і тензометри зі змінною магнітною проникністю[3].

1.4. Огляд тензорезисторних тензометрів переміщень – прогиномірів

Для покращення роботи, як оптимальний варіант приводяться тензорезисторні тензометри переміщень.

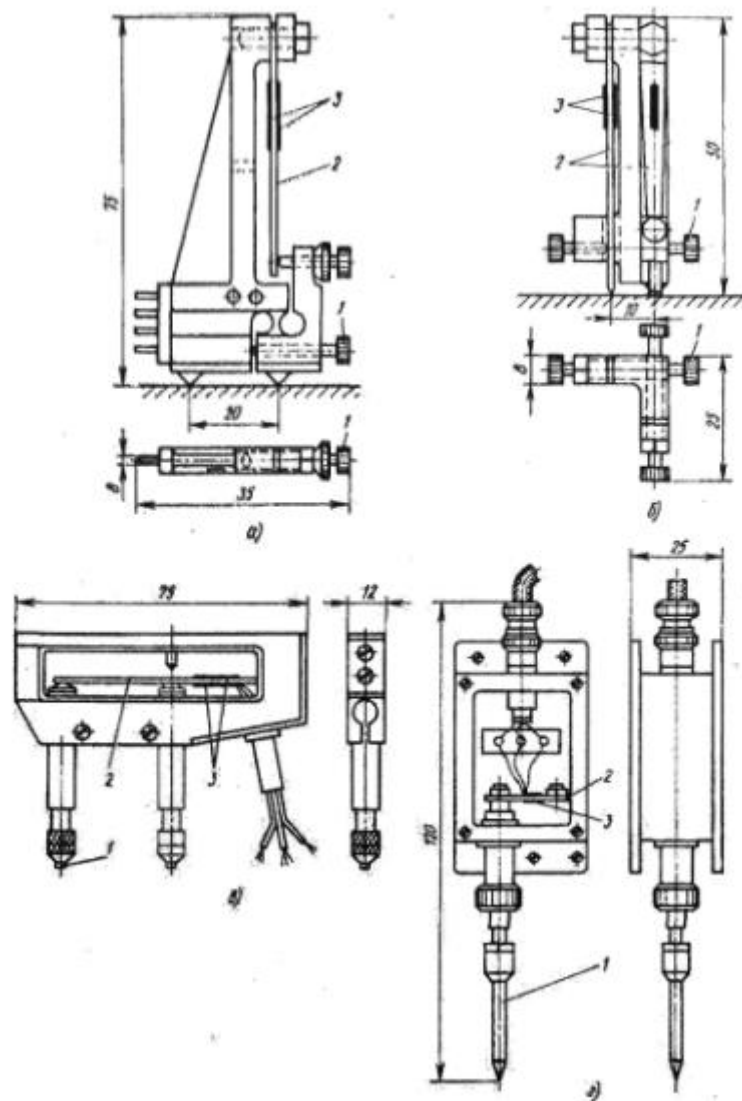


Рис. 1.6. Тензорезисторні тензометри переміщень

а - на базі 10 і 20 мм; б - в двох взаємно перпендикулярних напрямках на базі 10 мм; 1 - регулювальні гвинти; 2 - консольні пружні елементи; 3 - тензорезистори; в - з консольним пружним елементом; г - із затисненим пружним елементом; 1 - наполегливий штифт; 2 - пружний елемент; 3 - тензорезистори переміщень.

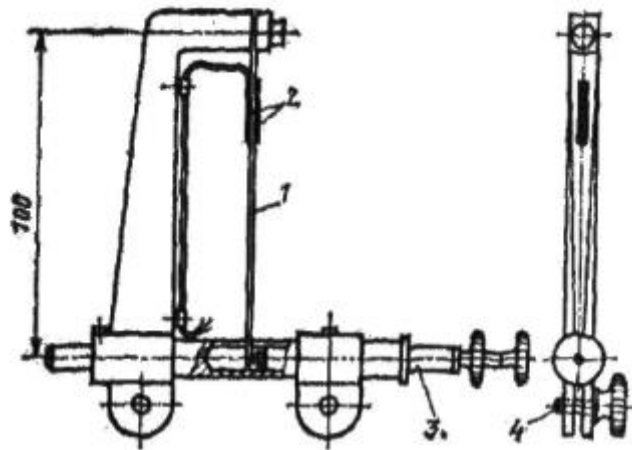


Рис. 1.7. Тензорезисторний тензометр переміщення – прогиномір

1 - пружний елемент; 2 - тензорезистори; 8 - регулювальний гвинт; 4 - настановний гвинт.

Тензорезисторні тензометри переміщень з консольними пружними елементами (рис. 1.6, а, б) дозволяють виміряти деформації на поверхні об'єктів, модуль пружності матеріалів яких понад 1 ГПа.

Діапазон вимірювання переміщень до ± 10 тис. о.в.д, коефіцієнт перетворення $10-50 \times 10^6$ оvd/мм. При застосуванні термостійких термокомпенсованих тензорезисторів, верхня межа діапазону робочих температур становить 202°C .

Тензорезисторні тензометри переміщень показані на рис. 1.6. в, е, призначаються для вимірювання взаємних зсувів деталей машин і агрегатів, а також контролю стану поверхні об'єктів дослідження .

Ці тензометри можуть забезпечити вимірювання переміщень до 1-10 мм при коефіцієнті перетворення 5-20 тис. оvd/мм. Їх використовують для реєстрації ексцентричності і биття валів при обертанні.

Електромеханічні прогиноміри (рис. 1.7.) застосовують для вимірювання переміщень великих величин, а також прогинань елементів машин і механізмів. Прогиноміри мають забезпечуватися змінними пружними чутливими елементами. З їх допомогою вимірюють прогинання від 2,5 до 25,0 мм при коефіцієнті перетворення 5-20 тис. оvd/мм[4].

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.5. Будова та принцип роботи установки вищої точності(УВТ)

Під час випробуваннях і градуюванні тензорезисторів потрібно вимірювати зміну опору, що залежить від деформації ґриштки. Про деформацію ґриштки тензорезистора, який навантажується в процесі випробувань або градуювання, судять по деформації пружного елемента, до якого приєднуються тензорезистори. З цього випливає, що характер навантаження і форма пружного елемента повинні бути вибрані так, щоб на всій ділянці пружного елемента деформація його поверхні мала однакове значення. Цією умовою задовольняється брус рівного опору вигину, центрально розтягнутий стрижень, брус постійного перетину, які піддаються простому чистому вигину.

УВТ складається з наступних засоби вимірювання(ЗВ) (рис. 1.8):

- установки, в якій використовується балка постійного перетину, яка навантажується по схемі чистого вигину;
- компаратора - вимірника деформації[5].

Установка включає балку градуйовану 1, пристрій навантажуючий 2, пульт управління навантаженням 8, тензорезисторний тензометр переміщень (прогиномір) 4. Вимірник деформації включає комутатор 5, партію тензорезисторів 7, пристрої управляючого вимірювання, для перетворення падіння напруги на тензорезисторах в цифровий код 6 та ЕОМ(електронна обчислювальна машина) 10.

В основі принципу роботи стенду вбудований брус постійного перетину (градуйована балка), яка піддається простому чистому вигину(балка вигинається по окружності і на всій її ділянці прогин балки має одне й те ж значення), який найраціональніший в енергетичному і технологічному відношеннях і забезпечує найбільшу точність відтворення деформації і продуктивність при випробуваннях і градуюванні

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тензорезисторів.

Комп'ютер 9 управляє двигуном 8 (через RS232), що розтягує балку чистого вигину. На балці приклеєні тензорезистори 7, які піддаються деформації за рахунок деформації балки. Комп'ютер подає сигнал на комутатор 5, що переключає тензорезистори і який зчитує їхні покази через прогиномір 4. Прогиномір 4 (як правило індикатор часового типу), в залежності від переміщень тензорезисторів 7 показує сигнал (точність досягає 0,1 відсотка), який передається на комутатор 5 (ком порт через RS232). З комутатора 5 значення прогиноміра 4 передаються на пристрій управління для перетворення падіння напруги на тензорезисторах в цифровий код 6, з якого ці сигнали передаються назад до комп'ютера і запам'ятовуються.

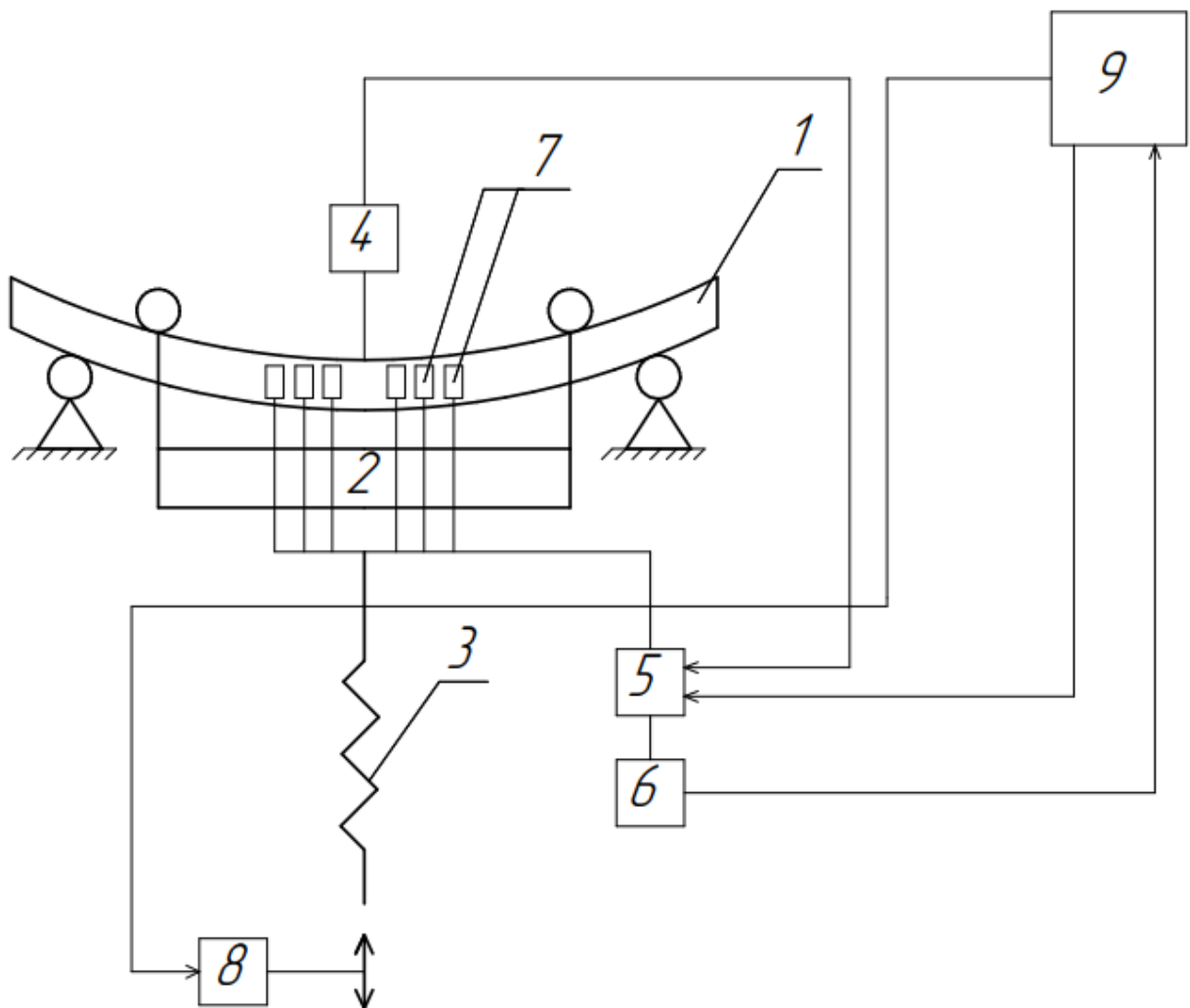


Рис. 1.8. Склад УВТ

- 1 – брус постійного перетину(градуїрована балка)
- 2 - навантажуючий пристрій
- 3 - ходовий гвинт
- 4 - тензорезисторний тензометр переміщення(прогиномір)
- 5 - комутатор
- 6 - ПУ вимірювання для перетворення ΔU на тензорезисторах
- 7 – тензорезистори
- 8 – контролер двигуна
- 9 – електронно-обчислювальна машина (ЕОМ)

1.6. Опис кінематичної схеми стенду і короткий опис ЗВ, що входять в склад УВТ

Деформація балки 22 проходить за допомогою навантажуючого пристрою, кінематична схема якого показана на рис. 1.9.

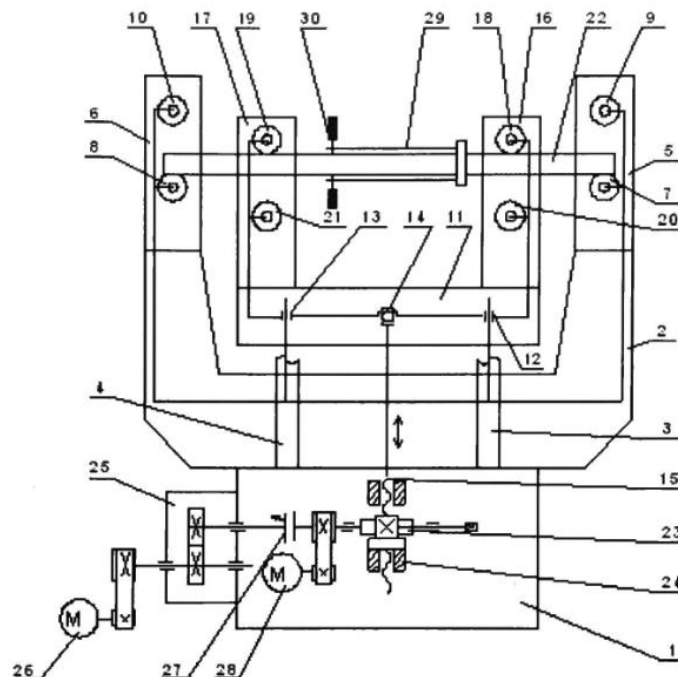


Рис. 1.9. Кінематична схема стенду

Підстава 1, кронштейн 2 і колони 3 і 4 складають жорстку раму пристрою навантаження стенду. На кронштейні 2 на відстанях $700 \pm 0,03$ мм від осі встановлено опори 5 і 6 з нижніми опорними роликами 7 і 8 і верхніми 9 і 10. Стіл 11 переміщається по колонах 3 і 4 на направляючих втулках 12 і 13 та з'єднаний двостороннім кульовим шарніром 14 з ходовим гвинтом 15 електромеханічного приводу. На столі 11 на відстанях $350 \pm 0,02$ мм від осі додатку навантаження, встановлені опори 16 і 17 з верхніми нажимними роликами 18 і 19 і нижніми 20 і 21.

Навантаження на градуйовану балку 22 від ходового гвинта 15 подається через нажимні ролики 18 і 19 при деформації градуйованої балки опуклістю вниз, і через нажимні ролики 20 і 21 при деформації градуйованої балки опуклістю вгору.

Під час деформації градуйованої балки 22 на ходовий гвинт 15 передається поступальне переміщення від черв'ячної передачі 23, яка розташовується в підставі 1 і розрізної гайки 24. Обертання черв'яка подається від коробки передач типа меандр 25, яка забезпечує співвідношення оборотів вихідного валу 1:1, 1:10, 1:100, 1:1000, 1:10000. На коробці передач встановлюється асинхронний електродвигун приводу 26. Коробка передач типа меандр дозволяє отримати широкий діапазон швидкостей деформації градуйованої балки: 0,005; 0,05; 0,5; 5; 50 мм/хв. Вихідний вал коробки передач 25 з'єднаний з черв'яком черв'ячної передачі 23 електромагнітною муфтою 27.

Під час настановних переміщень столу електромагнітна муфта 27 відключається і черв'як отримує обертання від електродвигуна 28 через клиноремену передачу.

Управління роботою установки виконується за допомогою спеціального пульта.

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вимірювальний перетворювач деформації під'єднується до приладу на базі ПК, який до початку досліду має бути проградуйований в одиницях відносної деформації(ОВД). До складу приладу входить:

- вимірювач електричних сигналів тензорезисторів, який слугжить для перетворення падіння напруги на тензорезисторах в цифровий код;
- блок комутації, який має призначення для комутації даного тензорезистора по входу вимірювального пристрою;
- контролер на базі ПК, який виконує функції керування вимірювальної частини схеми, запам'ятовує і обробляє результати вимірювання, та реєструє їх;

Градування виконується за допомогою мікрокалятора до початку дослідів. Це дає можливість вести вимірювання з точністю до мікрон[6].

1.7. Вибір балки чистого вигину

Балка являє собою брус прямокутного перетину 40х60х1500 мм, виготовлений з високолегованої сталі 35ХГСА. Градуйована балка, рис. 1.10., є основним робочим елементом, на який клеяться випробовувані тензорезистори, які деформується. Основні вимоги до форми і розмірів градуйованої балки полягають в тому, щоб на всій ділянці балки деформація її поверхонь мала одне і те ж значення. Це означає, що на всій довжині форма і розміри градуйованої балки має бути однаковою. Окрім того, градуйована балка після розвантаження не повинна мати залишкової деформації, тобто повинна володіти дуже хорошими пружними якостями. Вказані вимоги до

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

градуїваної балки показані нарис. 1.10[7].

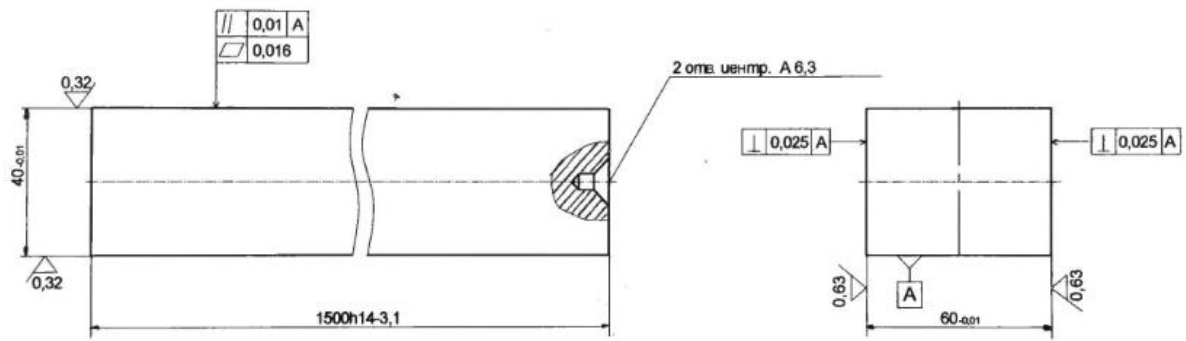


Рис. 1.10. Балка градуївана

1.8. Розрахунок відносної деформації виходячи з теорії чистого вигину

Під час чистого вигину балки (бруса) постійного перетину вісь її згинається по дузі кола. За цією умовою залежність між відотною деформацією ε наклеюваного тензорезистора, геометричними розмірами градуїваної балки і її прогинанням мають наступні вирази:

$$\frac{L_0}{R_0} = \frac{L_0 - \Delta L}{R_0 - \frac{h}{2}} = \frac{L_0 + \Delta L}{R_0 + \frac{h}{2}} ; \quad (1.2)$$

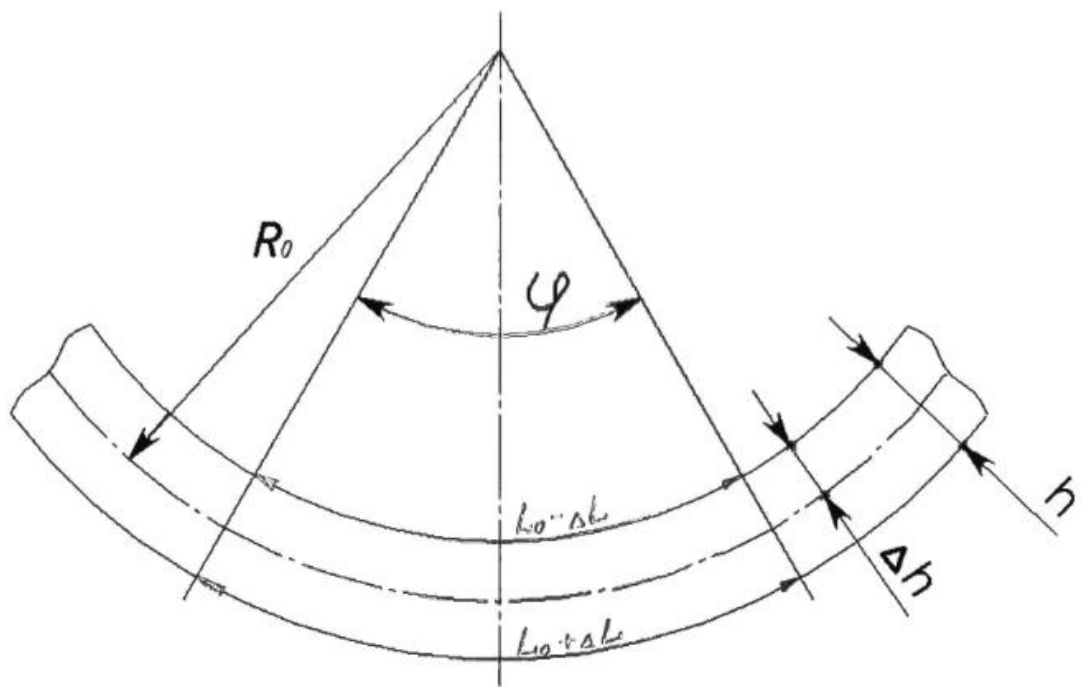


Рис. 1.11. Сдеформована балка (чистий вигин)

$$\frac{L_0}{R_0} = \frac{L_0 + \Delta L}{R_0 + \frac{h}{2}} ; \quad (1.3)$$

$$\frac{R_0 + \frac{h}{2}}{R_0} = \frac{L_0 + \Delta L}{L_0} ; \quad (1.4)$$

$$1 + \frac{\frac{h}{2}}{R_0} = 1 + \frac{\Delta L}{L_0} = \varepsilon ; \quad (1.5)$$

$$\frac{\frac{h}{2}}{R_0} = \frac{\Delta L}{L_0} = \varepsilon ; \quad (1.6)$$

$$\varepsilon = \frac{h}{2R_0} ; \quad (1.7)$$

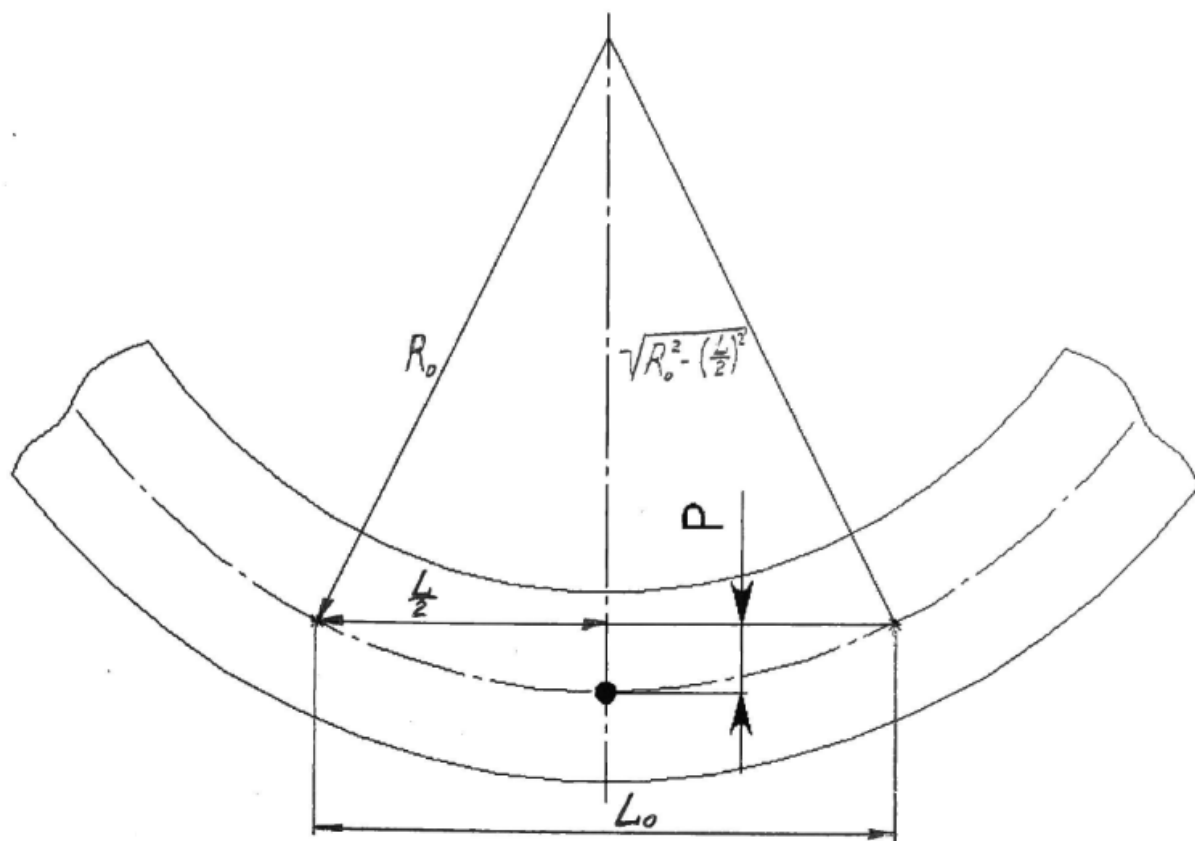


Рис. 1. 12. Залежності між геометричними параметрами балки чистого вигину

Залежність відносної деформації балки від геометричних параметрів
рис. 1.12.

$$R_0 - \sqrt{R_0^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2} = p; \quad (1.8)$$

$$R_0 - p = \sqrt{R_0^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2}; \quad (1.9)$$

$$(R_0 - p)^2 = R_0^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2; \quad (1.10)$$

$$R_0^2 - 2R_0p + p^2 = R_0^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2; \quad (1.11)$$

$$2R_0p = p^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2; \quad (1.12)$$

$$R_0 = \frac{p^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2}{2p} = \frac{p}{2} + \frac{L^2}{8p}; \quad (1.13)$$

$$\varepsilon = \frac{h}{2R_0} = \frac{h}{p + \frac{L^2}{4p}}. \quad (1.14)$$

де h - товщина балки, мм;

p - прогин балки, мм;

ΔL - відносне видовження балки, мм;

L - база прогиноміра, мм;

R_0 - радіус вигину балки, мм.

Вираз (1.14) встановлює залежність між прогином балки і її відносною деформацією. Він використовується при градуюванні вимірювального перетворювача деформації.

Технологічний процес під час якого проводиться градуювання і випробування тензорезисторів має наступну послідовність: на монтажному столі на градуйовану балку наклеюються тензорезистори і здійснюється первинний монтаж напівмостів вимірювальної електричної схеми. Потім градуйовану балку перекачують на навантажувальний пристрій, де

виконується завершальний монтаж вимірювальної схеми і проводиться деформація балки на чистий вигин з визначенням характеристик тензорезисторів[8].

1.9. Склад і принцип дії прогиноміра

Установка заданих прогинань, та їхнє вимірювання проводиться прогиноміром 29 нульовим методом за допомогою плоскопаралельних кінцевих мір довжини 30 і нуль-індикатора 31, який встановлений в прогиномірі 29. Прогиномір, зображений на рис. 1.13. складається з траверси 1 з опорами у вигляді двох кернів 2 і підшипника 3. На рівних відстанях від опор 2 і 3 встановлений вимірювальний прилад 5 (індикатор багатооборотній з ціною розподілу 0,001 мм по ГОСТ 9696-82) закріплений гвинтом 4, при вимірюваннях прогинань по шкалі вимірювального приладу або нуль-індикатор (головка вимірювальна важіль-зубчата по ГОСТ 18833-73) при вимірюванні прогинань нульовим методом за допомогою плоскопаралельних кінцевих мір довжини по ГОСТ 9038-73. При вимірюваннях прогинань нульовим методом разом з прогиноміром використовується опора 6, в якій встановлена касета 7 із закріпленими в ній пружинами кінцевими мірами довжини 8 і мембрана 9 із закріпленими в ній кульками 10, через які кінцеві міри довжини спираються на робочу поверхню градуйованої балки 11. Траверсу 1 і опора 6 прогиноміра кріпляться до градуйованої балки за допомогою підпружинених пружинами притисків 12[9].

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

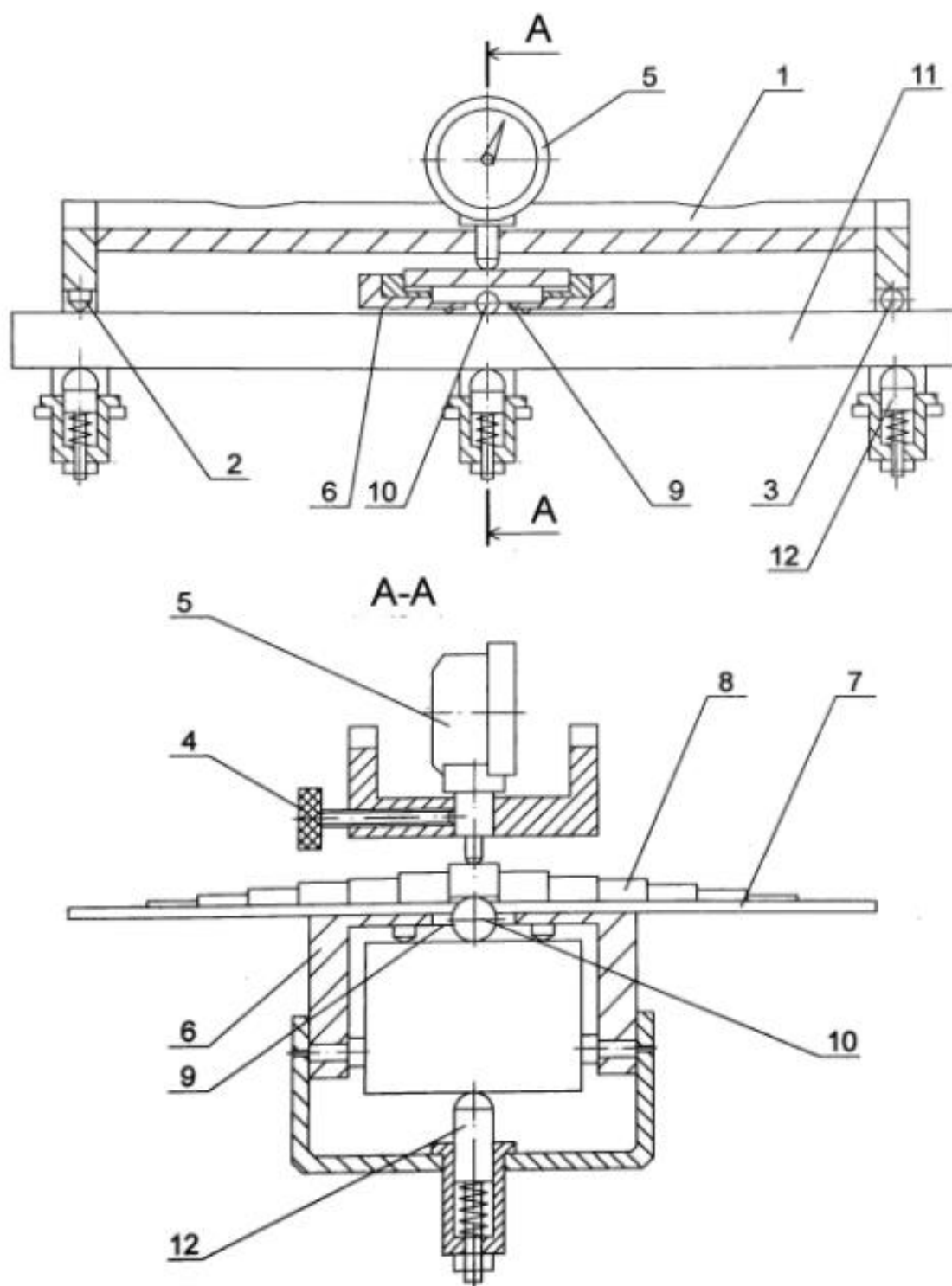


Рис. 1.13. Прогиномір

Вимірювання прогинань нульовим методом виконується таким чином. Під вимірювальний наконечник нуль-індикатора 5 установлюється кінцева міра довжини 8; вказівна стрілка нуль-індикатора встановлюється в положення нуля. Потім замінюється кінцева міра іншої довжини.

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

номінальний розмір якої відрізняється від номінального розміру первинної на величину, яка рівна ступеню прогинання градуйованої балки, що задається. Деформується градуйована балка до моменту повернення вказівної стрілки нуль-індикатора в нульове положення. Номінальні розміри кінцевих мір вибрані з такою умовою, щоб на установці відтворювалася і вимірювалася деформація в діапазоні від мінус 3000 до 3000 млн^{-1} рівними ступенями - 500 млн^{-1} .

Управляється робота установки за допомогою спеціального пульта.

Вимірник деформації (компаратор) призначається для передачі розміру одиниці деформації від УВТ зразковим засобам вимірювання. До складу вимірника деформації входить:

- вимірювач статичних сигналів тензорезисторів (ИССТ-1), який застосовується для перетворення падіння напруги на тензорезисторах в цифровий код;
- блок комутації, який призначений для комутації даного тензорезистора по входу вимірювального пристрою;
- контролер на базі ПК, виконуючий функції керування вимірювальної частини схеми, запам'ятовування і обробки результатів вимірювання, їх індикацію та реєстрацію;
- партія спеціальних фольгових тензорезисторів з базою 10 мм та номінальним опором 200 Ом.

Для передачі розміру одиниці деформації на установці визначається коефіцієнт перетворення вимірника деформації, для цього балку зі встановленими тензорезисторами навантажують від деформації $\epsilon=0$ до $\epsilon=+3000$ (-3000) млн^{-1} і розвантажують. Навантаження і розвантаження проводять рівними ступенями $\epsilon=500$ млн^{-1} . ЕОМ проводить обробку результатів спостережень на кожному ступені деформації, розраховує за

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

програмою значення деформації, середнє значення вихідних сигналів (ξ), середнє квадратичне відхилення результатів спостережень вихідних сигналів (S_ξ), коефіцієнт перетворення і його середнє значення (k та \bar{k}), СКВ результатів спостережень і вимірювань коефіцієнта перетворення (S_k)[10].

1.10. Програма градування прогиноміра в залежності від прогину балки чистого вигину

Розрахунок градуйованої характеристики прогиноміра програмно реалізований з використанням алгоритмічної мови Turbo Pascal. Схему алгоритму наведено на рис. 1.20., а список змінних, що використовуються у розрахункових формулах проектно-конструкторського розділу та відповідних їм ідентифікаторів програми представлено у табл. 1.1. Текст програми і результати, отримані з використанням програми представлені у додатку .

Розглянемо схему алгоритму програми «Градування». В блоках 1-3 виконується запит на завантаження даних з файлу попереднього розрахунку. Якщо оператор бажає завантажити попередні дані з файлу, тоді, при натисненні кнопки «Y», в блоці 4 виконується завантаження параметрів прогиноміру і балки: h - висота балки чистого вигину, L - база прогиноміра, Δh - відстань від поверхні чутливого елемента до середньої лінії. В блоці 5 ці дані виводяться на екран. В блоках 6-8 виконується цикл послідовного введення десяти значень прогину балки f_i . В блоках 9-10 виконується запит на введення, та введення висоти балки чистого вигину. В блоках 11-12 виконується запит на введення, та введення величини бази прогиноміру. Блок 13 - виведення на екран величини Δh , підрахованої програмою за формулою. Блок 14 це мітка з якої програма починає повторний розрахунок при відповідній відповіді на запит в блоці 24. В блоках 15 - 17 виконується цикл послідовного введення десяти значень прогину балки. В блоках 18-21

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

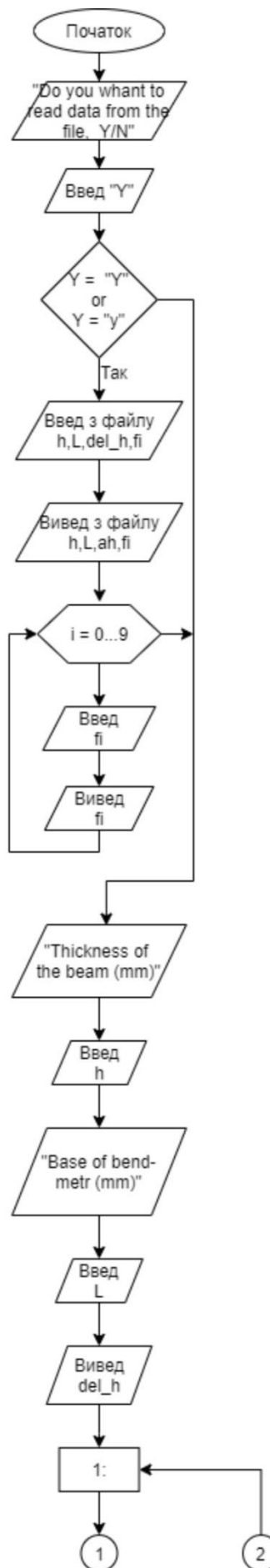
виконується розрахунок відносної деформації за формулою представленою в конструкторському розділі дипломного проекту. Блок 22 - виведення на екран розрахованих значень відносної деформації ε . Блоки 23, 24 - запит на повторний розрахунок. Блоки 25, 26 - запит на збереження результатів розрахунків у файлі. Блок 27 - виведення в файл усіх параметрів розрахунків з коментарями.

За допомогою програми значно спрощується процес градуювання прогиноміру. Що, в свою чергу, допоможе автоматизувати процес розрахунку та керування навантаженням через ПК[11].

Таблиця 1.1

Список змінних та ідентифікаторів, що використані відповідно у формулах та програмі

Величина			Одиниці
Позначення		Найменування	
<i>В фор.</i>	<i>В прогр.</i>		
h	“Thickness of the beam”, h	Висота балки	мм
L	“Base of bendmetr”, L	База прогиноміру	мм
Δh	dh	Відстань від поверхні чутли- вого елемента до середньої лінії	мм
f	“Bend”, f	Прогин балки	мм
ε	“Relative deformation”, eps	Відносна деформація	



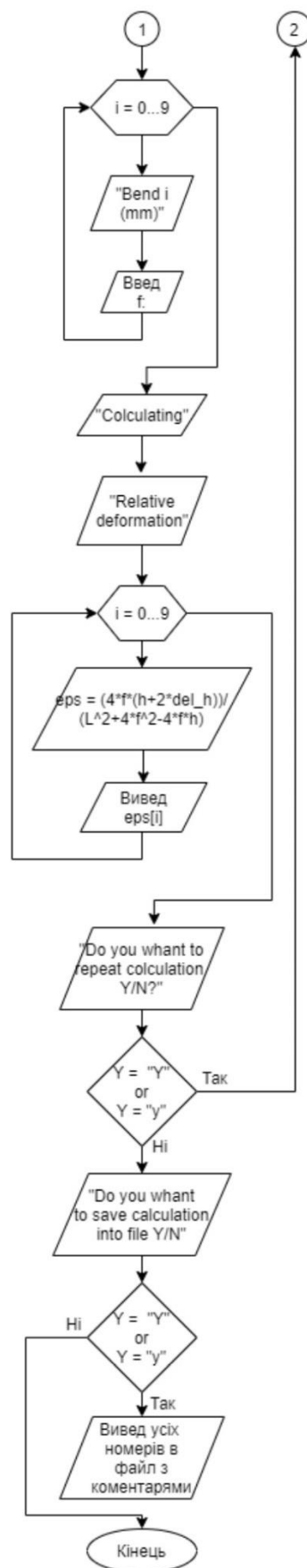


Рис. 1.14. Блок-схема алгоритму програми «Градуювання»

1.11. Розробка принципів схем вимірювального перетворювача деформації

Технічні вимоги до перетворювача:

- тип пружного елементу - балочний;
- діапазон заданих деформацій ± 3000 о.в.д.;
- похибки відтворення деформації, не більше ± 10 о.в.д.;
- РКП вимірювального перетворювача 2 мВ/В;
- тип відліку - цифровий.

Блок схема послідовного перетворення вимірюваної величини Δl в тензорезисторному перетворювачі показана на рис. 1.15.

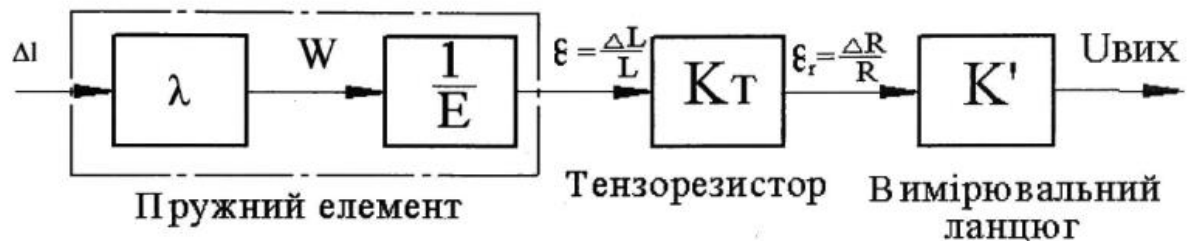


Рис. 1.15. Структурна схема тензорезисторного перетворювача

Перша ланка в цьому ланцюгу - пружний чутливий елемент (ПЧЕ) має вигляд пластини з прямокутним перерізом, яка працює на згин, в якій умовно можна відокремити дві сходинки перетворення: конструкція (форма) ПЧЕ перетворює видовження балки в поле механічних напруг σ , а останній, згідно з законом Гука, для матеріала з якого виготовлений ПЧЕ перетворюється на поле деформацій ϵ_r в повздовжньому напрямку зовнішньої поверхні пружного чутливого елементу, на якій наклеєні тензорезистори.

Друга ланка перетворювача - тензорезистори (ТР), що витримують деформації, рівні деформаціям поверхонь ПЧЕ, які розташовані

безпосередньо під ними. Тензорезистори перетворюють сукупність деформацій в сукупність змін опорів ΔR .

Третя ланка перетворення - мостова схема з'єднання тензорезисторів, що перетворює зміни опорів ТР і нормуючих перетворювачів в зміну коефіцієнта перетворення за напругою ΔK , яке рівне відношенню зміни вихідної напруги $\Delta U_{вих}$ до напруги живлення $\Delta U_{жив}$.

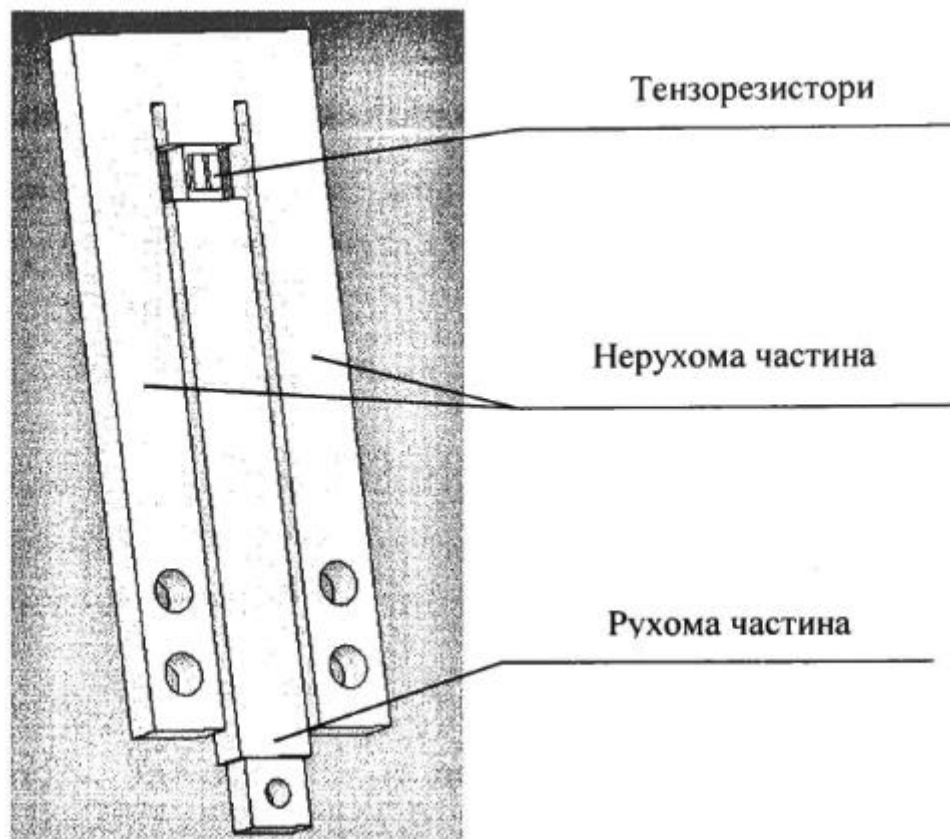


Рис. 1.16. Чутливий елемент перетворювача.

На етапі проектування обираємо чутливий елемент Ш-подібної форми рис. 1.16. Переміщення рухомої опорної призми перетворюється в електричний сигнал резистивною системою - тензорезисторами, які з'єднані в мостову схему. Тензометр має різні крипіжні системи, тому це дозволяє змінювати його базу[12].

1.12. Опис мостової схеми підключення тензорезисторів

Як вже говорилося раніше, в даному тензометрі, так само як і в багатьох інших застосовують мостову схему підключення тензорезисторів (рис. 1.17.), живлену напругою U_n . Мостова схема дає перевагу в тому, що за допомогою неї вимірюють тільки зміну опорів тензорезисторів R_1 , R_2 , R_3 і R_4 , а не загальний їхній опір. Балансування моста при відсутності навантаження на пружному елементі датчика сили можна виключити постійну складову вихідного сигналу. Можна збалансувати міст тензорезисторів не при нульовій, а при якому-небудь заданому навантаженні на пружний елемент датчика сили, що, в свою чергу, дає можливість виміряти відносну силу. В обидва суміжні плечі послідовно з тензорезисторами включають допоміжні регульовальні резистори для початкового балансування моста.

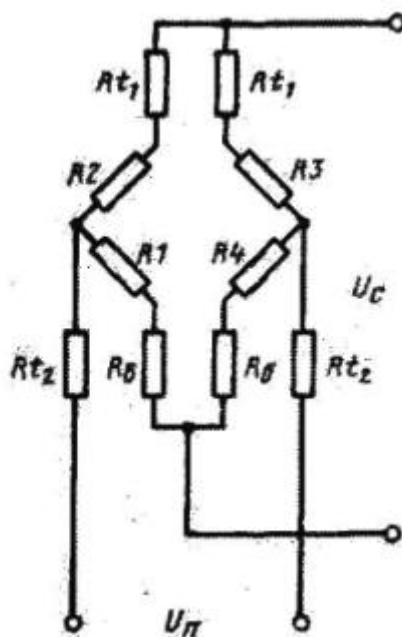


Рис. 1.17. Мостова схема включення тензорезисторів

Мостова схема дає можливість простими засобами забезпечити температурну компенсацію і зменшити чутливість датчика сили до компонентів сили, які не вимірюються. Для вирівнювання опорів тензорезисторів, які неминуче мають деякий розкид, в плечі моста

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

послідовно включають термочутливі опори R_{t1} і балансування R_6 . Таким чином виключають вплив температурних деформацій пружного елемента, а також температурної зміни опору тензорезисторів.

Для компенсації температурної зміни тензочутливості тензорезисторів, яке призводить до зміни чутливості датчика сили, в ланцюг діагоналі живлення моста послідовно включають термочутливі опори R_{t2} , котрі так регулюють напругу живлення моста, щоб компенсувати зміну його чутливості із зміною температури.

Встановлення термочутливих резисторів R_{t1} і R_{t2} дозволяє знизити температурну погрішність нуля R_{t1} і температурну похибку чутливості R_{t2} до 0,1-0,5% на 10°C для дріт'яних і фольгових тензорезисторних датчиків сили[17].

Застосування температурної компенсації необхідне в датчиках з напівпровідниковими тензорезисторами, оскільки їх температурні похибки на порядок більше, аніж для металевих, і можуть досягати 10 % від вимірювальної величини на кожні 10°C .

Включення тензорезисторів у всі плечі моста зменшує похибку приблизно в 30 разів, тобто до 0,3 % на 10°C , якщо розкид опорів тензорезисторів не перевищує $\pm 1\%$, а тензочутливості $\pm 2\%$. Включення в ланцюзі моста термоопорів знижує температурні похибки ще в 10-20 разів. Таким чином, температурна похибка датчиків сили з напівпровідниковими тензорезисторами може досягати не більше 0,05-0,1 % на 10°C , тобто може досягати величини, яка відповідає високоякісним датчикам з металевими тензорезисторами.

Разом з термокомпенсаційними опорами і балансуваннями в схему моста можуть вводити ще опори R_a і R_b за допомогою яких регулюють величини вхідного і вихідного опорів моста. Регулювання опорів моста і, значить, його чутливості, необхідно в такому випадку, коли треба

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечити взаємозамінність датчиків. Можна привести приклад, фірма BLH (США) групує датчики по ступеню точності підгонки вхідного і вихідного опорів в межах 0,1-0,25 % від номінального[14].

Градуйована характеристика тензометричних датчиків сили має бути лінійною.

Вдосконалення вже існуючих конструкцій тензометрів, що і є задачею приладобудування в цій області, передбачає собою розширення діапазону їх застосування, підвищення експлуатаційних характеристик і точності. Для цього необхідне впровадження сучасних матеріалів, схематичних вирішень і забезпечення автоматизованої реєстрації і обробки результатів вимірювань.

Оскільки ті тензорезистори, що серійно випускаються не забезпечують виконання багатьох специфічно вимірювальних задач, у тому числі також вимірювання при криогенних температурах, одночасного вимірювання деформацій і температур, динамічних вимірювань в широкому інтервалі частот і температур, великих рівнів деформацій і т.д., велика кількість організацій самостійно розробляють потрібні для цього тензорезистори і вимірники деформацій як загального призначення, так і спеціальні, засновані на різних принципах дії: місткісті, фотоелектричні, напівпровідникові і інші.

Таке положення речей приводить до необхідності опрацювання питань оптимізації міжгалузевої номенклатури тензометричних засобів вимірювання і чіткої класифікації їх по призначенню. В даному положенні тензорезистори можуть бути підрозділені наступним чином:

- тензорезистори для міцносної тензометрії, які призначені для вимірювання деформації ϵ в діапазоні $\pm 3000 \times 10^{-6}$ при яких робочі температури становлять від -100 до +200°C;

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- тензорезистори для високотемпературної міцносної тензометрії, де $\varepsilon = \pm 2000 \times 10^{-6}$, $t_{\max} = 1000^{\circ}\text{C}$;
- тензорезистори, призначені для низькотемпературної міцносної тензометрії в діапазоні $\varepsilon = \pm 2000 \times 10^{-6}$, при $t_{\min} = -273^{\circ}\text{C}$;
- тензорезистори, котрі забезпечують одночасне вимірювання температур і деформацій при міцнісних випробуваннях виробів; у них $\varepsilon = \pm 2000 \times 10^{-6}$, робочі температури при цьому від 10 до 1000°C ;
- тензорезистори, які призначені для вимірювання динамічних деформацій при високій температурі: $\varepsilon = \pm 1500 \times 10^{-6}$, $t_{\max} = 1000^{\circ}\text{C}$, частотний діапазон вимірювання $f = (1-2 \times 10^4)$ Гц;
- тензорезистори, призначені для вимірювання великих деформацій: $\varepsilon = \pm 20000 \times 10^{-6}$, робочі температури при цьому становлять від -70 до $+200^{\circ}\text{C}$.

Слід також зазначити, що багато галузей промисловості все більше останнім часом потребують тензометричних датчиках тріщин, а також спеціальних тензорезисторів, для знаходження накопичень втомних пошкоджень в конструкціях.

Для міцносної тензометрії при робочих температурах від -100 до $+200^{\circ}\text{C}$ цілком придатні тензорезистори КФ4 і КФ5. Випробування попередньо показали, що ці тензорезистори мають здатність витримувати натиск деформацій до 5000×10^{-6} без їхнього руйнування.

Істотний вплив суб'єктивних чинників на достовірність результатів є особливістю тензометричних вимірювань. Тому на даний момент підвищується значення створення і упровадження методик оцінки і виконання погрішностей тензометричних вимірювань деформацій.

До останнього часу підприємства, які займаються зразковими засобами вимірювання, виготовляють і використовують вимірювачі деформацій різних

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

типів, також включаючи тензокалібратори лінійних деформацій застарілих типів, установки ТС-4, ТБ-12, УГТВ, УГТН і інші конструкції саморобного типу, які по точносним характеристикам, зручності і продуктивності в експлуатації не відповідають рівню промисловості на сучасний стан[15].

1.13. Розрахунок основних геометричних параметрів перетворювача

На даному етапі проектування нам потрібно точно визначити геометричні параметри чутливого елемента тензорезисторного вимірювального перетворювача деформації. Виходячи з норм тензометрії ми знаємо, що зона наклейки тензорезисторів (робоча зона) має бути меншого перерізу ніж переріз чутливого елемента (рис. 1.19.). Тому розрахунки і виведення основних формул бкде вестися виходячи з того що:

Задано максимальну вимірювану деформацію, яка дорівнює ± 3000 о.в.д. Це означає, що відношення між видовженням балки і базою прогиноміра буде дорівнювати

$$\frac{\Delta L}{L} = 3 \cdot 10^{-3}.$$

Тому

$$\Delta L = 3 \cdot 10^{-3} \cdot L.$$

А звідси можемо підрахувати, що максимальне відносне видовження балки

$$\Delta L = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 30 \text{ мм};$$

$$\Delta L = 0.09 \text{ мм}.$$

Звідси відносне видовження балки буде дорівнювати $\Delta L \approx 0.1 \text{ мм}$.

Якщо будемо виходити з теорії чистого вигину то можемо записати наступні геометричні залежності між параметрами чутливого елемента (рис. 1.18.).

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

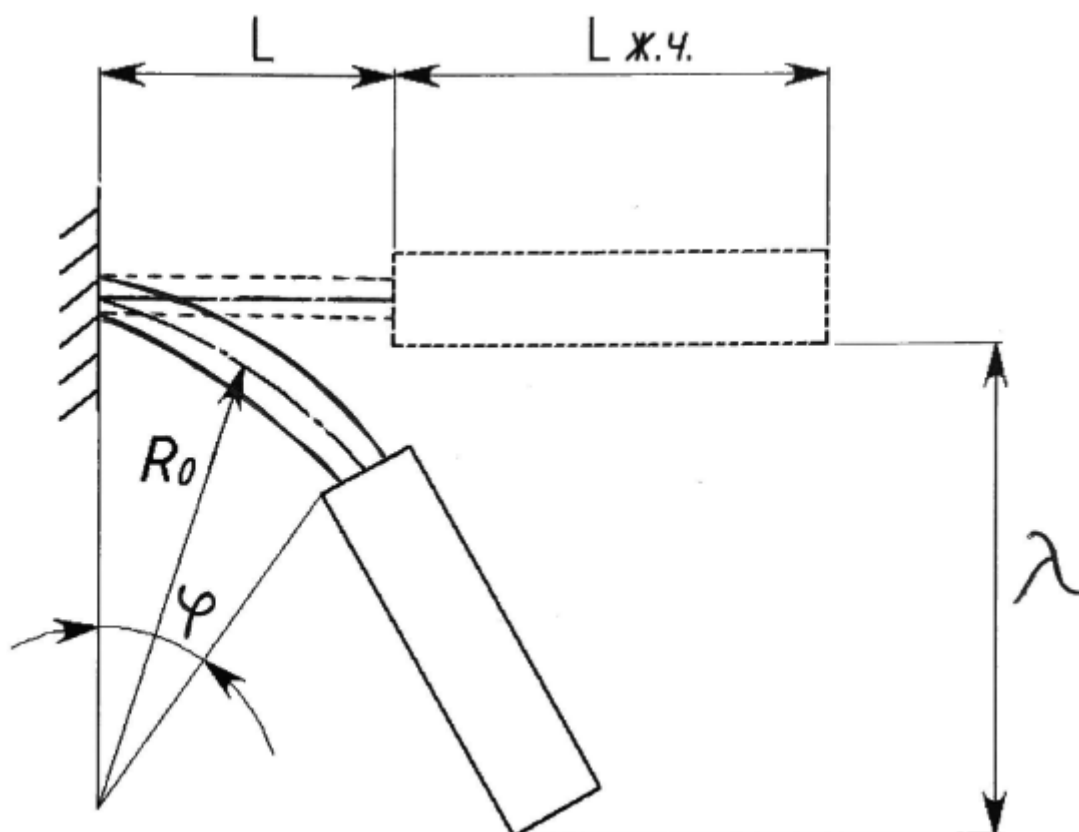


Рис. 1.18. Схема вигину чутливого елемента вимірювального тензометричного перетворювача деформації

Можемо записати співвідношення між рухом незакріпленого (вільного) кінця, довжини робочої зони, довжини жорсткої частини і радіусом кривизни робочої зони рухомої балочки чутливого елемента:

$$\frac{\lambda}{L_{жч}} = \frac{l}{R_0}; \quad (1.15)$$

Виходячи з цього можна записати

$$\lambda = \frac{L_{жч} \cdot l}{R_0} \Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{\lambda}{L_{жч} \cdot l}; \quad (1.16)$$

З формули (1.14) ми маємо

$$\varepsilon = \frac{h}{2R_0} \Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{\varepsilon}{\frac{h}{2}}; \quad (1.17)$$

Отже, коефіцієнт відносної деформації тензорезистора буде мати наступний вигляд:

$$\frac{\lambda}{L_{ЖЧ} \cdot l} = \frac{2\varepsilon}{h} \Rightarrow \varepsilon_{TP} = \frac{h}{2} \cdot \frac{\lambda}{L_{ЖЧ} \cdot l}; \quad (1.18)$$

$$\varepsilon_{TP} = \frac{h}{2} \cdot \frac{\lambda}{L_{ЖЧ} \cdot l}. \quad (1.19)$$

Можемо записати вираз для визначення робочого коефіцієнта перетворення тензорезистора (РКП):

$$PKП = \frac{K}{(K+1)^2} \cdot K_T \cdot 2 \cdot (\varepsilon_1 + \varepsilon_2); \quad (1.20)$$

де K_T - коефіцієнт тензочутливості;

K — коефіцієнт симетрії мостової схеми;

ε_1 - відносна деформація повздовжного тензорезистора;

ε_2 - відносна деформація поперечного тензорезистора.

Виходимо з того, що в даному випадку існує тільки повздовжня деформація, тому $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$.

$$PKП = \frac{K}{(K+1)^2} \cdot K_T \cdot 4 \cdot \varepsilon_{TP}; \quad (1.21)$$

$$PKП = \frac{K}{(K+1)^2} \cdot K_T \cdot 4 \cdot \frac{h}{2} \cdot \frac{\lambda}{L_{ЖЧ} \cdot l}. \quad (1.22)$$

Скориставшись програмою Math Cad визначимо геометричні параметри чутливого елемента. Будемо виходити з того, що $\lambda = 0,1$ мм, $K = 1$, $K_T = 2,1$ (для тензорезисторів виготовлених з константану), $PKП = 2$ мВ/В.

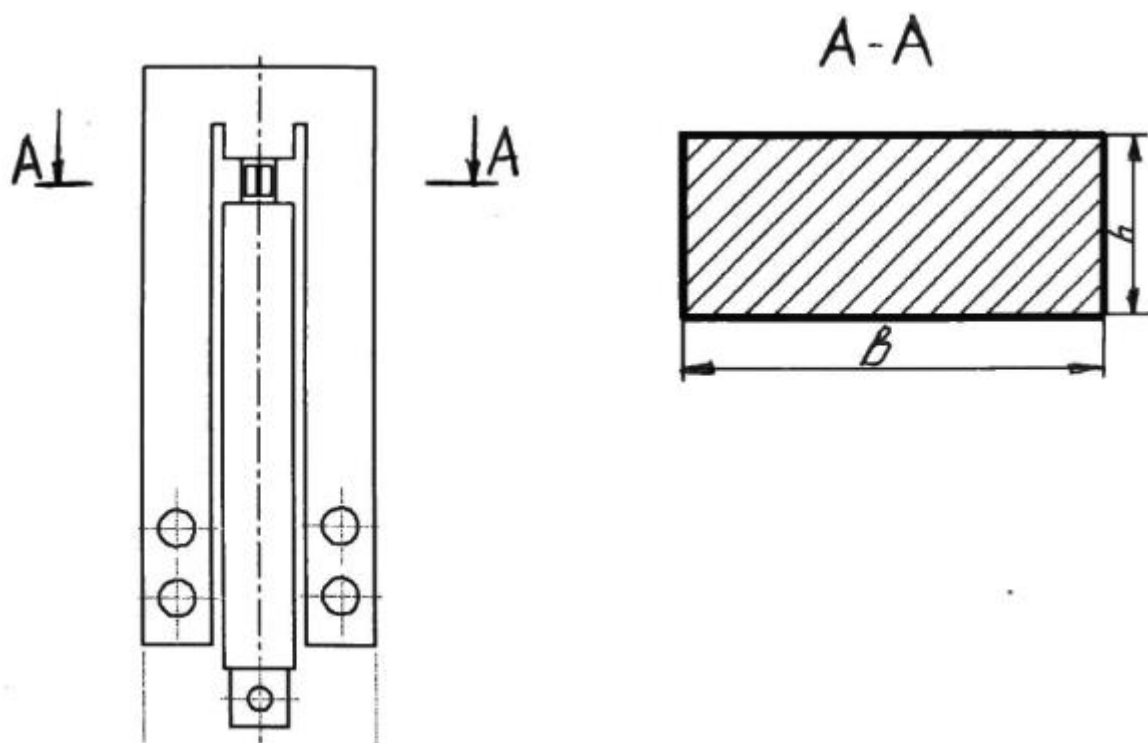


Рис. 1.19. Розрахунок геометричних параметрів пружного елемента вимірювального перетворювача

$$l = 4 \text{ мм};$$

$$b = 3 \text{ мм};$$

$$h = 2 \text{ мм};$$

$$L = 40 \text{ мм}.$$

Тепер ми знаємо параметри чутливого елемента перетворювача, кількість наклеюваних тензорезисторів, з'єднаних за мостовою схемою та інші параметри, можемо показати загальну збірку тензорезисторного вимірювального перетворювача деформації рис. 1.10[16].

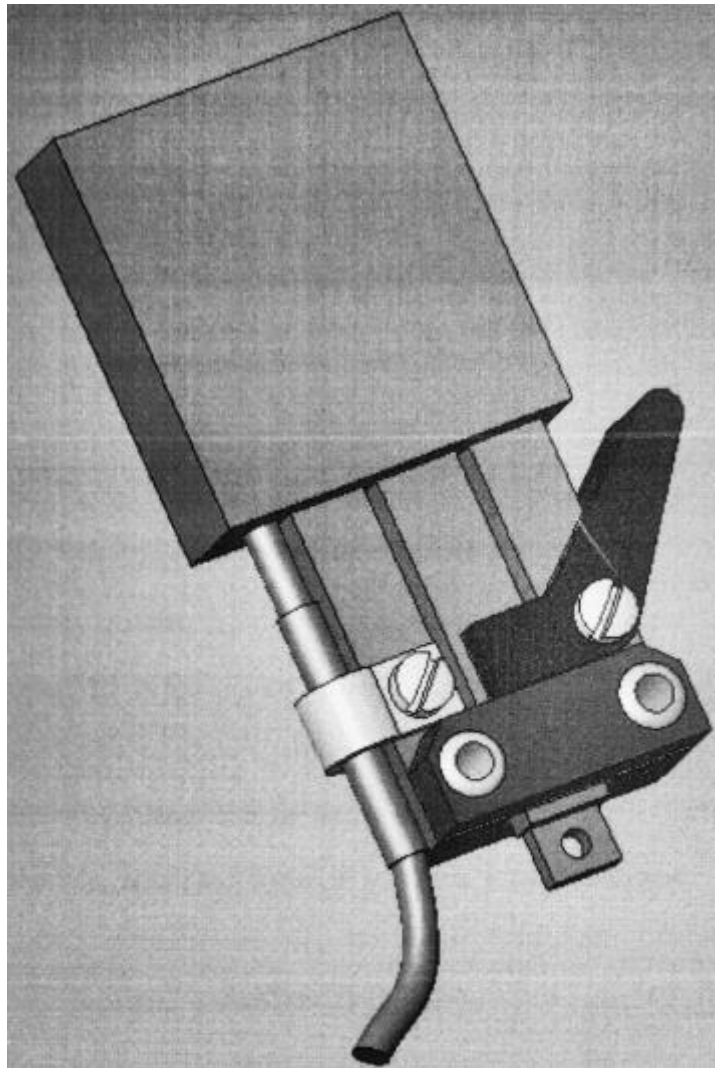


Рис. 1.20. 3D модель тензорезисторного вимірювального перетворювача деформації

1.14. Розрахунок статичної характеристики вимірювального перетворювача

Функціональна залежність вихідного сигналу від сигналу на вході $X_{вих}$ при сталому значенні вхідного сигналу називають статичною характеристикою.

$$X_{вих} = f(X_{вх}). \quad (1.23)$$

Рівняння 1.22 характеризує стан рівноваги чутливого елемента і дозволяє нам проаналізувати статичну точність системи в урівноваженому

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стані. Розрізняють дві групи в залежності від властивостей статичних характеристик: лінійні і нелінійні.

Для тензорезисторного вимірювального перетворювача вхідною величиною являється відносна деформація ε (подовження градуйованої балки), а вихідною - вихідна напруга $U_{вих}$.

Функція перетворення вимірювального ланцюга тензорезисторного датчика являє собою слідуючий вигляд:

$$U_{жив} = U_{жив} \cdot \frac{K}{(K+1)^2} \cdot K_T \cdot 2 \cdot (\varepsilon_1 + \varepsilon_2); \quad (1.24)$$

де K - коефіцієнт симетрії мостової схеми;

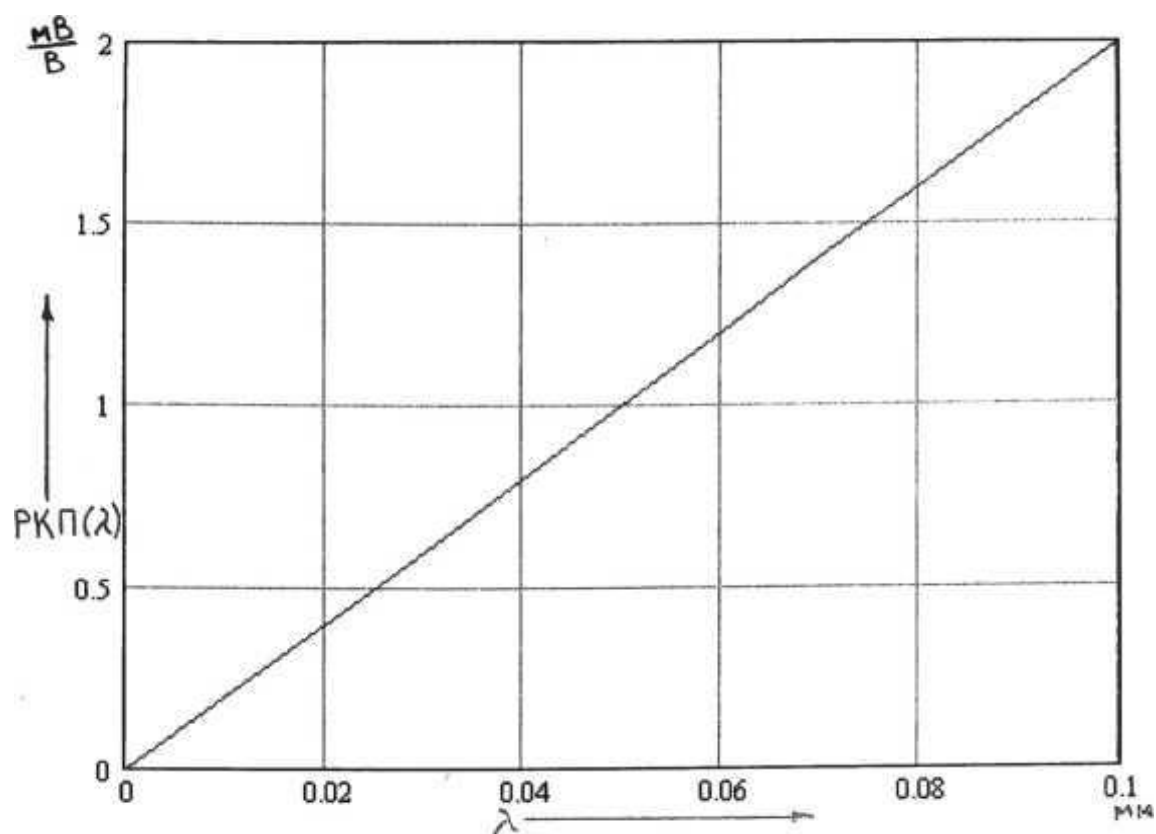
K_T - коефіцієнт тензочутливості;

ε_1 і ε_2 - відносні деформації повздовжного і поперечного тензорезисторів відповідно ($\varepsilon_1 = \varepsilon_2$).

Дивлячись на те, що статична характеристика тензорезисторного перетворювача має лінійний характер, ми можемо записати її таким чином[13]:

$$PKII = f(\lambda). \quad (1.25)$$

Після цього всього статична характеристика перетворювача буде мати вигляд:



Також будуюмо статичну характеристику яка залежить від відносної деформації:

$$PKП = f(\epsilon)$$

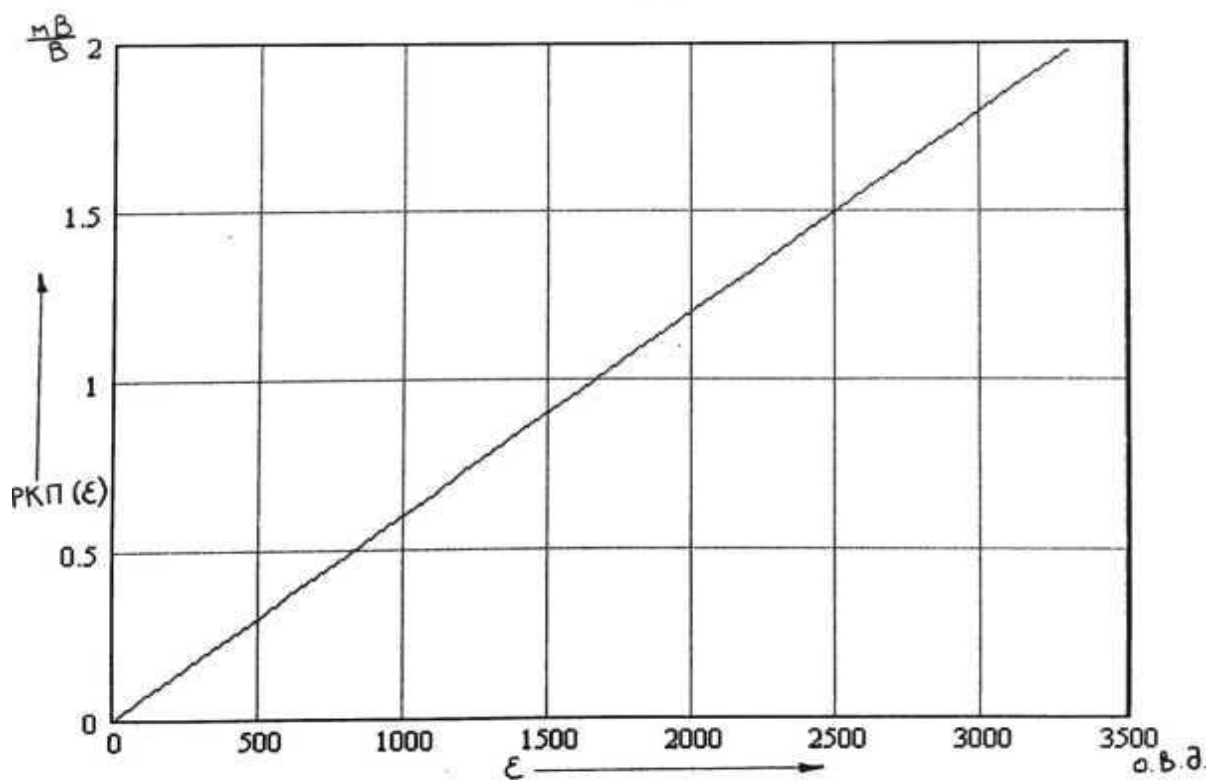


Рис. 1.21. Статичні характеристики перетворювача

1.15. Дослідження похибки передачі розміру одиниці деформації

Для визначення похибки передачі розміру одиниці деформації проводилося дослідження вимірника деформації і однієї партії тензорезисторів КФ5, відібраної по критеріях, які були для цього розроблені. З даної партії в свою чергу відібрали групу тензорезисторів 70 штук, при чому різниця опорів тензорезисторів в групі не перевищувала 0,1 % від номінального значення 200 Ом. Групу тензорезисторів поділили випадковим способом на дві групи, кожна з них у кількості 30 одиниць встановлювали на робочу поверхню з вимогами інструкції по наклейці АЖВ2.782.001 ТО. Першу вибірку встановили на робочу поверхню балки, а другу - на протилежну. Проводили перевірку установки тензорезисторів по поверхні балки згідно з розміткою, а також перевірку відсутності розшарувань, повітряних міхурів, забруднень. Вимірювали опори тензорезисторів, приклеєних до робочої поверхні і опори ізоляції. Тензорезистори, які були відбраковані виключали з подальшої експлуатації

Для кожної вибірки визначалися коефіцієнти функції перетворення (коефіцієнт перетворення – K_i). Таким же чином проводилися дослідження двох груп тензорезисторів, кожна з яких включала в собі 2 вибірки. Результати вимірювань коефіцієнтів перетворення приведені в таблицях 1.2.-1.5.

Таблиця 1.2

**Результати вимірювання коефіцієнтів перетворення і перевірки
однорідності груп спостережень двох вибірок тензорезисторів (1 група)**

ε, млн ⁻¹	Коефіцієнт перетворення, К		СКВ результатів S _к		$\frac{S_{K.б}^2}{S_{K.м}^2}$	K ₁ -K ₂ · 10 ⁴	t	t _q · K	t ≤ t _{q·K}
	1 вибірка,	2 вибірка,	1 вибірка	2 вибірка,					
	K ₁	K ₂	S _{K1} · 10 ⁴	S _{K2} · 10 ⁴					
-500	2,1701	2,1698	42	38	1,22	3	0,3	2,4	Так
-1000	2,1670	2,1668	35	31	1,27	2	0,2	2,4	Так
-1500	2,1632	2,1629	29	26	1,24	7	1,0	2,4	Так
-2000	2,1602	2,1598	26	27	1,08	4	0,6	2,4	Так
-2500	2,1566	2,1565	23	22	1,09	1	0,2	2,4	Так
-3000	2,1531	2,1529	23	21	1,20	2	0,3	2,4	Так
-2500	2,1545	2,1546	25	23	1,18	1	0,2	2,4	Так
-2000	2,1573	2,1567	29	24	1,46	6	0,8	2,4	Так
-1500	2,1597	2,1593	30	25	1,44	4	0,5	2,4	Так
-1000	2,1633	2,1624	36	34	1,12	9	1,0	2,4	Так
-500	2,1643	2,1638	44	41	1,15	5	0,4	2,4	Так

Таблиця 1.3

**Результати вимірювання коефіцієнтів перетворення і перевірки
однорідності груп спостережень двох вибірок тензорезисторів (1 група)**

ε, млн ⁻¹	Коефіцієнт перетворення, К		СКВ результатів спостережень, S _К		$\frac{S_{K.б}^2}{S_{K.м}^2}$	K ₁ -K ₂ · 10 ⁴	t	t _{q · κ}	t ≤ t _{q · K}
	1 вибірка,	2 вибірка,	1 вибірка	2 вибірка,					
	K ₁	K ₂	S _{K1} · 10 ⁴	S _{K2} · 10 ⁴					
500	2,1709	2,1703	44	46	1,09	6	0,5	2,4	Так
1000	2,1715	2,1704	30	29	1,07	11	1,4	2,4	Так
1500	2,1739	2,1727	25	22	1,29	12	1,9	2,4	Так
2000	2,1750	2,1736	25	21	1,42	14	2,2	2,4	Так
2500	2,1762	2,1752	23	20	1,32	10	1,7	2,4	Так
3000	2,1781	2,1773	24	21	1,31	8	1,3	2,4	Так
2500	2,1750	2,1741	26	23	1,28	9	1,3	2,4	Так
2000	2,1730	2,1719	26	25	1,08	11	1,6	2,4	Так
1500	2,1710	2,1699	27	28	1,08	11	1,5	2,4	Так
1000	2,1679	2,1669	32	34	1,13	10	1,1	2,4	Так
500	2,1654	2,1658	50	52	1,08	4	1,3	2,4	Так

Таблиця 1.4

Результати вимірювання коефіцієнтів перетворення і перевірки
однорідності груп спостережень двох вибірок тензорезисторів (2 група)

ε , млн ⁻¹	Коефіцієнт перетворення, К		СКВ результатів спостережень, S _к		$\frac{S_{K.б}^2}{S_{K.м}^2}$	K ₁ -K ₂ · 10 ⁴	t	t _q · K	$t \leq t_{q \cdot K}$
	1 вибірка,	2 вибірка,	1 вибірка	2 вибірка,					
	K ₁	K ₂	S _{K1} · 10 ⁴	S _{K2} · 10 ⁴					
-500	2,1721	2,1729	22	24	1,19	8	1,2	2,4	Так
-1000	2,1680	2,1681	17	18	1,12	1	0,2	2,4	Так
-1500	2,1644	2,1637	16	16	1,00	7	1,6	2,4	Так
-2000	2,1612	2,1611	16	17	1,13	1	0,2	2,4	Так
-2500	2,1578	2,1585	16	17	1,13	7	1,5	2,4	Так
-3000	2,1547	2,1548	15	18	1,44	1	0,2	2,4	Так
-2500	2,1559	2,1562	15	18	1,44	3	0,6	2,4	Так
-2000	2,1583	2,1583	16	18	1,27	0	0	2,4	Так
-1500	2,1608	2,1602	17	19	1,25	6	1,2	2,4	Так
-1000	2,1636	2,1631	19	24	1,60	5	0,8	2,4	Так
-500	2,1650	2,1663	24	28	1,36	13	1,8	2,4	Так

Таблиця 1.5

**Результати вимірювання коефіцієнтів перетворення і перевірки
однорідності груп спостережень двох вибірок тензорезисторів (2 група)**

ε , млн ⁻¹	Коефіцієнт перетворення, К		СКВ результатів спостережень, S _к		$\frac{S_{K.б}^2}{S_{K.м}^2}$	K ₁ -K ₂ · 10 ⁴	t	t _q · K	$t \leq t_{q,K}$
	1 вибірка,	2 вибірка,	1 вибірка	2 вибірка					
	K ₁	K ₂	S _{K1} · 10 ⁴						
500	2,1734	2,1731	35	30	1,36	3	0,3	2,4	Так
1000	2,1738	2,1733	21	18	1,36	5	0,9	2,4	Так
1500	2,1751	2,1753	21	18	1,36	2	0,4	2,4	Так
2000	2,1767	2,1770	20	15	1,78	3	0,6	2,4	Так
2500	2,1785	2,1786	19	14	1,84	1	0,2	2,4	Так
3000	2,1807	2,1807	20	15	1,78	0	0	2,4	Так
2500	2,1769	2,1769	21	15	1,96	0	0	2,4	Так
2000	2,1740	2,1744	22	16	1,89	4	0,7	2,4	Так
1500	2,1716	2,1716	23	17	1,83	0	0	2,4	Так
1000	2,1694	2,1686	24	18	1,78	8	1,3	2,4	Так
500	2,1661	2,1656	36	30	1,44	5	0,6	2,4	Так

Для кожної з груп тензорезисторів проводилася перевірка нормальності розподілу результатів спостережень при визначенні K_i і перевірка однорідності двох вибірок в групі тензорезисторів. Оскільки при наклеїці груп тензорезисторів використовувався клей з різних партій, то порівняння груп тензорезисторів між собою не проводилося[18].

1.16. Перспективи подальшого вдосконалення установки

Надалі дослідження УВТ мають бути направлені, насамперед, на підвищення точності вимірювання відтворювання деформації, удосконалення нерівномірності поля деформації пружного елемента установки і методу вимірювання прогинання.

Перспективними передбачаються дослідження по створенню прецизійних конструкційних сплавів із високими і стабільними фізико-механічними властивостями в широкому діапазоні деформації, дослідження по створенню абсолютних методів вимірювання полів деформацій на основі використання оптичних квантових генераторів і фазо-частотних методів, дослідженню по розробці зразкового тензومتра для передачі розміру одиниці деформації[19].

Вирішення цих проблем дозволить в 2 - 3 рази підвищити точність відтворення і передачі одиниці деформації по ступенях перевірконої схеми.

Висновки до розділу 1

Проведені дослідження нам показали, що СКВ результатів спостережень коефіцієнта перетворення в діапазоні до 1000 млн⁻¹ для деформації розтягування і стиснення не перевищує 0,18%. СКВ результатів спостережень коефіцієнта перетворення в діапазоні від 1000 до 3000 млн⁻¹ для деформації розтягування і стиснення не перевищує 0,12%, що не перевищує половини погрішності методу передачі розміру одиниці для відповідного діапазону деформації. Згідно з Державною повірочною схемою для засобів вимірювань деформації погрішність методу передачі розміру одиниці для деформації розтягування і стиснення в діапазоні до 1000 млн⁻¹ складає 0,40 %, а для деформації розтягування і стиснення в діапазоні від 1000 до 3000 млн⁻¹ складає 0,25 %.

Оскільки отримані метрологічні характеристики не перевищують допустимих значень, то УВТ СЧИ-20 відповідають своєму метрологічному статусу (зразкова установка вищої точності) згідно з ГОСТ 8.543-86[20].

При проведенні цієї роботи були досліджені і створені засоби вимірювань, які включені до складу установки вищої точності для метрологічної атестації, відтворення і зберігання одиниці деформації і отримані наступні результати.

1. Установка вищої точності забезпечує відтворення і зберігання одиниці деформації в діапазоні від мінус 3000 до 3000 млн⁻¹ і передачу її розміру за допомогою зразкових засобів вимірювань робочим засобам відповідно до державної перевірочної схеми.

2. Вдосконалення прогиноміра дало змогу спростити процес повірки тензорезисторів. Цифровий вихідний сигнал та зв'язок з ПК значно спростили обробку отриманих результатів.

3. Подальше удосконалення УВТ має бути направлено на збільшення точності відтворення і вимірювання одиниці деформації.

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Технологічний розділ

2.1. Вибір технологічної одиниці

Метою технологічного розділу є обґрунтування проектування і виготовлення прогиноміра, що має переваги в порівнянні з аналогами.

Необхідно провести аналіз об'єкта для технічного завдання, оцінку рівня технологічної складальної одиниці, розрахунок точності складання та визначення фізичної взаємозамінності, розробку технологічного процесу складання, проектування і опис конструкції та принципу роботи контрольного пристосування.

Вибираємо складальну одиницю “прогиномір”. Установка заданих прогинань, їх вимірювання проводиться прогиноміром (ДП ПМО 115.002 СК) за нуль-індикатора, встановленого в прогиномірі. Прогиномір складається з траверси з опорами, у вигляді двох кернів, і підшипника. На рівних відстанях від опор встановлений і закріплений гвинтом вимірювальний прилад (індикатор багатооборотний з ціною розподілу 0,001 мм по ГОСТ 9696-82) при вимірюваннях прогинань по шкалі вимірювального приладу або нуль-індикатор (головка вимірювальна важіль-зубчата по ГОСТ 18833-73) при вимірюванні прогинань нульовим методом за допомогою плоскопаралельних кінцевих мір довжини по ГОСТ 9038-73. При вимірюваннях прогинань нульовим методом з прогиноміром використовується опора, в якій встановлена касета із закріпленими в ній пружинами кінцевими мірами довжини і мембрана із закріпленими в ній кульками, через які кінцеві міри довжини спираються на робочу поверхню градуйованої балки. Траверса і опора прогиноміра кріпляться до градуйованої балки за допомогою підпружинених пружинами притисків. Необхідно, щоб для складальної одиниці забезпечувалася простота складання усіх деталей та складальних одиниць без пригонки і доробки, без селективного припасування, забезпечувана економічно прийнятними допусками в розмірних, кінематичних та електричних ланцюгах; можливість

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рівнобіжного складання, що скорочує виробничий цикл; можливість найбільшої диференціації складання.

Під технологічністю конструкції приладу чи складаної одиниці розуміють її властивість, яка дає змогу зібрати даний виріб як найшвидше, використовуючи прості, економічні та прогресивні технологічні процеси. Технологічність виробів слід розглядати, враховуючи масштаб виробництва та програму випуску виробу.

Конструкція вважається технологічною, якщо вона має малу трудомісткість виготовлення, низьку собівартість виробництва, короткий цикл складання, порівняно високий рівень уніфікації, стандартизації та нормалізації елементів, можливість використання найбільш простих методів виготовлення та складання, які мають високу точність та надійність.

Технологічність виробу - це відносний якісний показник, що оцінюється порівнянням вказаних характеристик виробництва з аналогічними, що має базовий виріб.

Оцінка рівня технологічності виробу в приладобудуванні регламентовано ГОСТ 14.201-73. Усі показники технологічності класифікують по області використання об'єкту, кількості можливих оцінок технологічності, області аналізу, засобу його вираження, значення, системою оцінки.

2.2 Визначення основних показників технологічності

Абсолютний техніко-економічний показник трудомісткості виготовлення виробу T_u визначається сумою нормо-часів, які були затрачені на виготовлення виробу:

$$T_u = \sum T_i ; \quad (2.1)$$

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де T_i - трудомісткість виготовлення та іспитів i -ої складальної одиниці в нор-мо-годинах.

$$T_{\text{и}} = T_{\text{трав}} + T_{\text{скоб}} + T_{\text{гв}} + T_{\text{голів}} \quad (2.2)$$

$$T_{\text{и}} = 2,8 + 1,1 + 1,5 + 1,2 = 6,6 \text{ нормо-години.}$$

Рівень технологічності конструкції по трудомісткості виготовлення $K_{y.m.}$ визначається як відношення досягнутої трудомісткості $T_{\text{и}}$ до базового показника $T_{\text{б.и}}$ ($T_{\text{б.и}} = 15$ нормо-годин):

$$K_{y.t.} = T_{\text{и}} / T_{\text{б.и.}} \quad (2.3)$$

$$K_{y.t.} = 6,6 / 15 = 0,44.$$

Технологічна собівартість виробу C_m визначається як сума затрат на одиницю виробу:

$$C_T = C_M + C_3 + C_{\text{ц.р.}}; \quad (2.4)$$

де C_M - ціна матеріалу на одиницю виробу (грн.);

C_3 - заробітна платня з нарахуваннями (грн.);

$C_{\text{ц.р.}}$ - цехові витрати (електоенергія, тепло, ремонт, амортизація).

За кошторисом $C_M = 240,0$ грн.; $C_3 = 34,4$ грн.; $C_{\text{ц.р.}} = 20,0$ грн. Тоді технологічна собівартість буде складати:

$$C_T = 240,0 + 34,4 + 20,0 = 294,4 \text{ грн.}$$

Рівень технологічності конструкції по технологічній собівартості $K_{y.c.}$ визначається як відношення досягнутої собівартості C_T до технологічної собівартості базового виробу $C_{\text{б.т.}}$ ($C_{\text{б.т.}} = 370,0$ грн.):

$$K_{y.c.} = C_T / C_{\text{б.т.}}; \quad (2.5)$$

$$K_{y.c.} = 294,4 / 370,0 = 0,79.$$

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Визначення додаткових показників технологічності

Технічний показник уніфікації конструкції.

Коефіцієнт уніфікації виробу K_y визначається зі співвідношення:

$$K_y = (E_y + D_y) / (E + D); \quad (2.6)$$

де $E_y = E_{y.z} + E_{y.n} + E_{c.t}$ — кількість уніфікованих складальних одиниць у виробі;

$D_y = D_{y.z} + D_{y.n} + D_{c.t}$ - кількість уніфікованих деталей, які є складовими частинами і які не ввійшли в E_y ;

$E_{y.z}$ та $D_{y.z}$ — відповідно числа займаних складальних одиниць та деталей ($E_{y.z} = 0, D_{y.z} = 0$);

$E_{y.n}$ та $D_{y.n}$ - відповідно числа покупних уніфікованих складальних одиниць та деталей ($E_{y.n} = 1, D_{y.n} = 0$);

$E_{c.t}$ та $D_{c.t}$ - відповідно числа стандартних складальних одиниць та деталей ($E_{c.t} = 0, D_{c.t} = 3$).

$E = E_y + E_{op}$ - загальне число складальних одиниць;

$D = D_y + D_{op}$ - загальне число деталей у виробі;

E_{op} та D_{op} - відповідно число оригінальних складальних одиниць та деталей.

$E_{op} = 3; D_{op} = 7$.

В нашому випадку $E_y = 1; D_y = 3; E = 4; D = 10$;

$$K_y = (1+3)/(4+10) = 0,286.$$

Коефіцієнт уніфікації складальних одиниць K_{yc} дорівнює відношенню кількості уніфікованих складальних одиниць до загальної кількості складальних одиниць у виробі:

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{y.c.} = E_y / E; \quad (2.7)$$

$$K_{y.c.} = 1 / 4 = 0,25.$$

Коефіцієнт уніфікації деталей виробу $K_{y.d}$ дорівнює відношенню кількості уніфікованих деталей до загального числа деталей у виробі:

$$K_{y.d} = D_y / D; \quad (2.8)$$

$$K_{y.d} = 3 / 10 = 0,3.$$

Коефіцієнт стандартизації виробу K_{ct} визначається за формулою:

$$K_{ct} = (E_{ct} + D_{ct}) / (E + D); \quad (2.9)$$

де E_{ct} та D_{ct} - відповідно числа стандартних складальних одиниць та деталей (стандартні деталі кріплення не враховуються).

$$K_{ct} = (1 + 3) / (4 + 10) = 0,286.$$

Коефіцієнт стандартизації складальних одиниць $K_{ct.e}$ визначається за формулою:

$$K_{ct.e} = E_{ct} / E; \quad (2.10)$$

$$K_{ct.e} = 1 / 4 = 0,25.$$

Коефіцієнт стандартизації деталей $K_{ct.d}$ дорівнює відношенню числа стандартних деталей до загального числа деталей:

$$K_{ct.d} = D_{ct} / D; \quad (2.11)$$

$$K_{ct.d} = 3 / 10 = 0,3.$$

2.4. Визначення комплексного показника технологічності виробу

Комплексний показник технологічності конструкції характеризує не окремі часткові ознаки технологічності, а характерну групу ознак технологічності конструкції.

Методика визначення комплексного показника враховує різну економічну ефективність часткових показників шляхом введення коефіцієнтів економічної ефективності K_3 часткових показників технологічності виробів. Цей коефіцієнт доцільно обмежити $0 < K_3 \leq 1$. При цьому коефіцієнт економічної ефективності буде визначатися з умови $\sum K_3 \leq 1$.

Комплексний показник технологічності визначається за формулою:

$$K = \frac{\sum K_i K_{i3}}{\sum K_{i3}}; \quad (2.12)$$

где K_i — частиний показник технологічності;

K_{i3} - коефіцієнт економічної еквівалентності і-го часткового показника.

$$K = \frac{0,44 \cdot 0,25 + 0,79 \cdot 0,5 + 0,286 \cdot 0,1 + 0,286 \cdot 0,1 + 0,286 \cdot 0,05}{0,25 + 0,5 + 0,1 + 0,1 + 0,05} = 0,577$$

Оскільки $K = 0,577 > 0,5$, то виріб є технологічним і придатний до впровадження у виробництво.

2.5. Схема складального складу

Першим етапом на шляху створення технології складання є відтворення схеми складального складу. Вона відтворює структурну схему прилада, число складальних одиниць, є комплектувочною картою при збірці. Розробка такої схеми дає можливість визначити конструктивні та складальні

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

елементи приладу, а також їх взаємозв'язок, представити проект технологічного процесу складання.

Схему складального складу можна використовувати для аналізу та синтезу складальної одиниці або приладу в цілому. Але схема складального складу не дає уявлення про послідовності складання та засобу забезпечення з'єднання. Схема складального складу приведена на рис. 3.1.

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

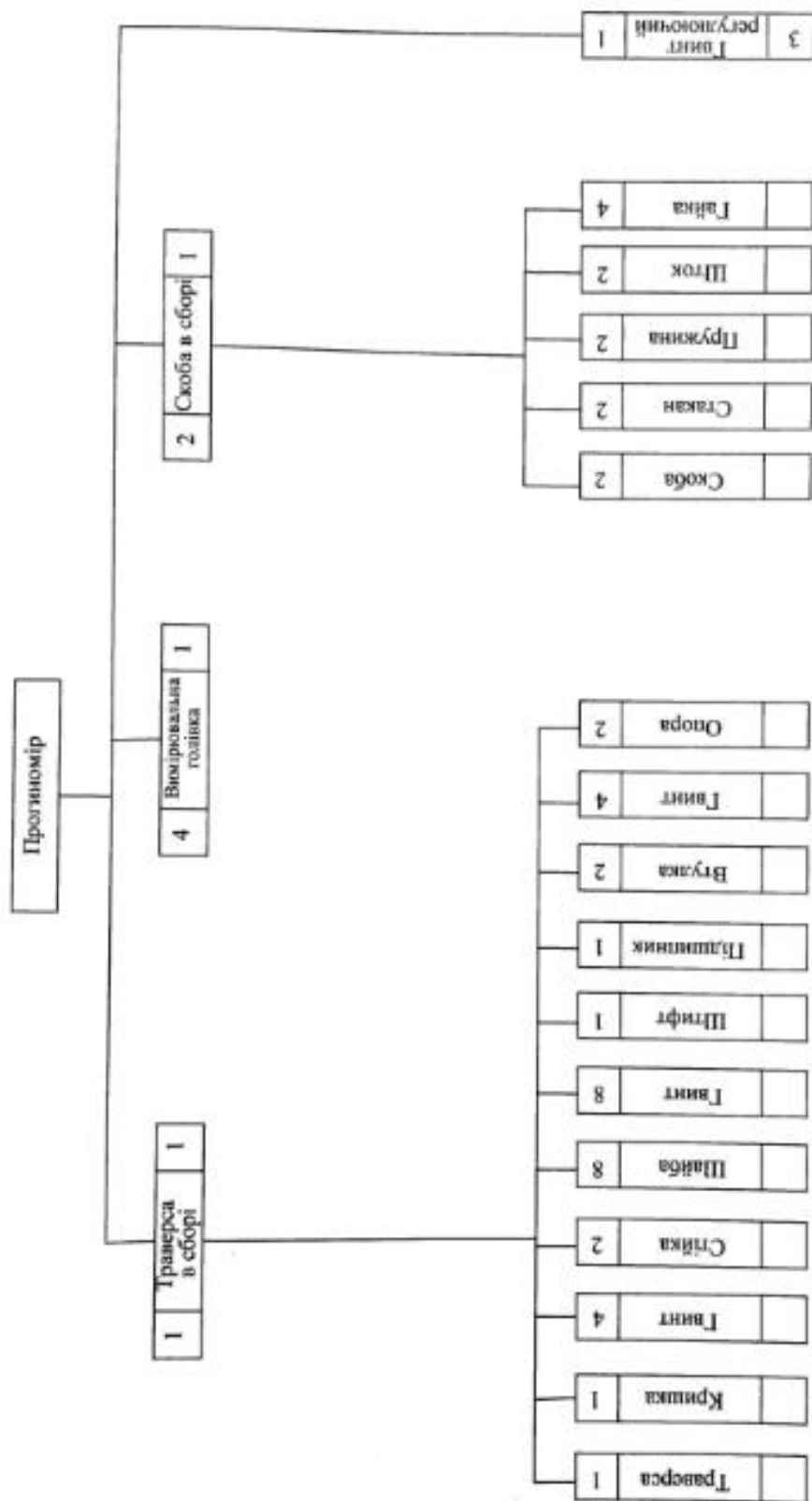


Рис. 2.1 - Схема складального складу

2.6. Технологічна схема складання.

Технологічна схема складання викреслюється для повного представлення процесу складання. Вона показує з чого починати складання, які і в якій послідовності подавати на складання деталі та складальні одиниці. Вона складається технологом-складальником, який назначає базову деталь, з якої починається процес складання. За вибраним порядком подачі деталей та складальних одиниць на складання призначаються операції і проектується сам процес з розділенням його на складальні операції та переходи.

На рис. 3.2 зображена технологічна схема складання для складальної одиниці прогиномір. На основі цієї схеми був складений технологічний процес складання.

Операційна технологічна карта представляє собою досконалу розробку кожної технологічної операції з урахуванням її елементів відповідно до технологічної схеми складання. Операційний технологічний процес представлено у вигляді послідовності переходів. Кожній крапці на лінії складання відповідає свій перехід.

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

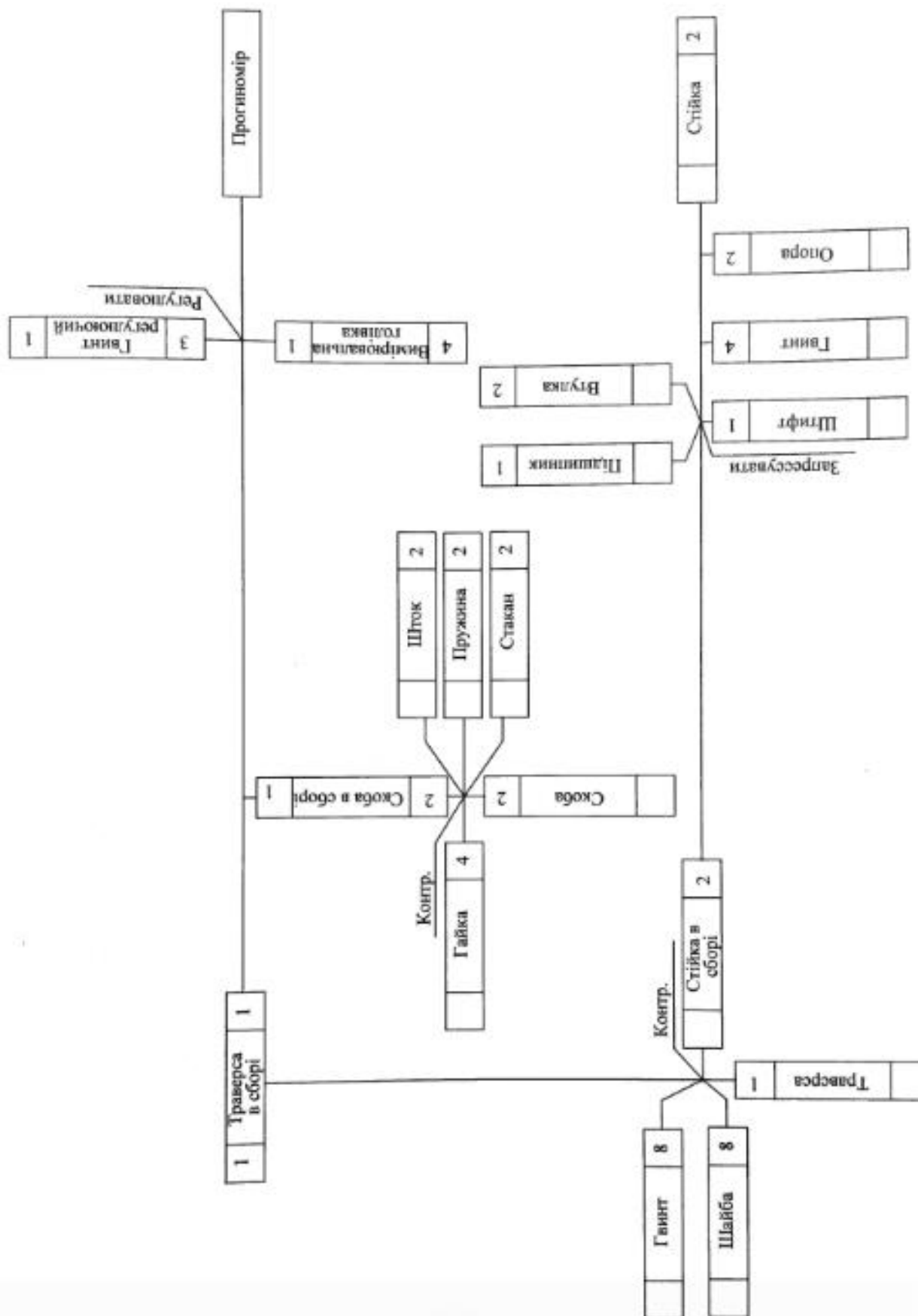


Рис. 2.2 - Технологічна схема складання

2.7. Розрахунок параметричної точності складання

До приладів виставляються вимоги по точності показників. Ці вимоги забезпечуються вірним та обґрунтованим вибором принципової схеми, а також технологією виготовлення деталей та складання приладу. Однією з головних ідей технологічності конструкції приладу при виконанні складання в серійних умовах є взаємозамінність складальних одиниць та деталей. У процесі виробництва приладів можливі похибки при виготовленні деталей та складальних одиниць. Тому вихідні параметри складальних одиниць та приладів відрізняються від номінальних показників. Врахувати вплив на вихідні параметри похибок виготовлення — це означає виконати розрахунок геометричної точності та розрахунок прилада на взаємозамінність. В даному розділі виконується розрахунок геометричної точності.

Потрібна точність складання (геометрична точність) може бути забезпечена різними методами в залежності від вимог. Розглянемо метод повної взаємозамінності та екстремальний метод.

Розрахунок геометричної точності зводиться до розрахунку розмірного ланцюга. Вибираємо складальну одиницю прогиномір (рис.3.3).

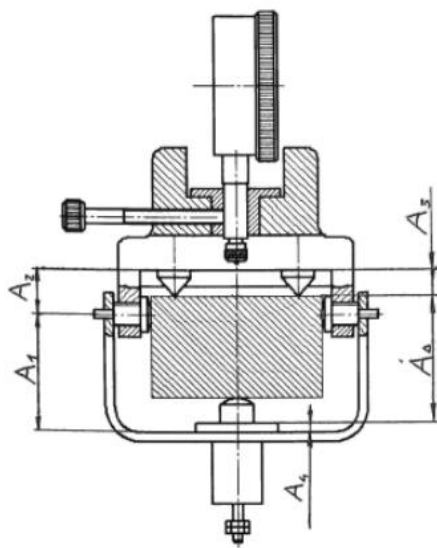


Рис. 2.3. Прогиномір (розріз)

Розрахувати розмірний ланцюг - це означає знайти величину замикаючої ланки та її допускові значення. Схему розмірного ланцюга представлено на рис. 34.

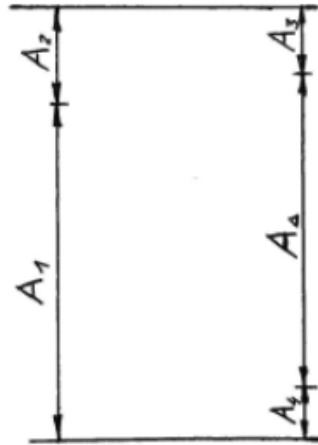


Рис. 2.4. Схема розмірного ланцюга

В таблиці 3.1. приведені номінальні значення складових розмірного ланцюга та їх допустимі відхилення.

Таблиця 2.1

Номінальні значення

Звено	A_i	A_2	A_3	A_4	Одиниця
Номінальний розмір	47,5	9,5	6	4	мм
Допустиме відхилення	-1,15	-0,2	-0,05	-0,15	мм

Номінальний розмір вихідної ланки в загальному випадку розраховується по формулі:

$$A_{\Delta} = \sum A_{i \text{ увел}} - \sum A_{i \text{ уменш}}; \quad (2.13)$$

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$A_{\Delta} = A_1 + A_2 - (A_3 + A_4) = 47,5 + 9,5 - (6 + 5) = 47 \text{ мм.}$$

Визначимо допуск замикаючої ланки у випадку повної взаємозамінності:

$$\delta_{\Delta} = \sum_{i=1} |\delta_i|; \quad (2.14)$$

$$\delta_{\Delta} = 1,15 + 0,2 + 0,05 + 0,15 = 1,55 \text{ мм.}$$

Координата середини поля допуску замикаючої ланки $K_i = \delta_i / 2$.

$$K_3 = K_1 + K_2 - (K_3 + K_4); \quad (2.15)$$

$$K_3 = -0,575 - 0,1 - (-0,025 - 0,075) = -0,575 \text{ мм.}$$

Верхнє і нижнє відхилення розміру допуску замикаючої ланки відповідно знаходять так:

$$\delta_{\Delta B} = K_3 + 0,5 \cdot \delta_{\Delta}; \quad (2.16)$$

$$\delta_{\Delta H} = K_3 - 0,5 \cdot \delta_{\Delta}; \quad (2.17)$$

$$\delta_{\Delta B} = -0,575 + 0,5 \cdot 1,55 = 0,2 \text{ мм;}$$

$$\delta_{\Delta H} = -0,575 - 0,5 \cdot 1,55 = -1,35 \text{ мм;}$$

Таким чином, у випадку повної взаємозамінності, розміри замикаючої ланки дорівнюють:

$$A_{\Delta} = \left(47_{-1,35}^{+0,2} \right) \text{ мм.}$$

Визначимо допуск замикаючої ланки методом неповної взаємозамінності.

$$\delta_{\Delta} = \frac{1}{3} \cdot 3 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^5 (\delta_i)^2};$$

(2.18)

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\delta_{\Delta} = \frac{1}{3} \cdot 3 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^5 (1.15^2 + 0.2^2 + 0.05^2 + 0.15^2)} = 1.18 \text{ мм.}$$

З урахуванням коефіцієнтів відносного розсіювання розмірів значення котрих для ланок розмірного ланцюга дорівнюють $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = 0$, визначимо координату середини поля розсіювання замикаючої ланки:

$$K_3 = K_1 + 0,5 \cdot \alpha_1 \cdot \delta_1 + K_2 + 0,5 \cdot \alpha_2 \cdot \delta_2 - [(K_3 + 0,5 \cdot \alpha_3 \cdot \delta_3) + (K_4 + 0,5 \cdot \alpha_4 \cdot \delta_4)]; \quad (2.19)$$

$$K_3 = -0,575 + 0,5 \cdot 0 \cdot (-0,15) - 0,1 + 0,5 \cdot 0 \cdot (-0,2) - [(-0,025 + 0,5 \cdot 0 \cdot (-0,05)) + (-0,075 + 0,5 \cdot 0 \cdot (-0,15))] = -0,575 \text{ мм.}$$

Верхня і нижня границі поля розсіювання замикаючої ланки:

$$\delta_{\Delta B} = K_3 + 0,5 \cdot \delta_{\Delta}; \quad (2.20)$$

$$\delta_{\Delta H} = K_3 - 0,5 \cdot \delta_{\Delta};$$

$$\delta_{\Delta B} = -0,575 + 0,5 \cdot 1,18 = 0,015;$$

$$\delta_{\Delta H} = -0,575 - 0,5 \cdot 1,18 = -1,165.$$

Таким чином, при неповній взаємозамінності розміри замикаючої ланки дорівнюють:

$$A_{\Delta} = \left(47_{-1.165}^{+0.015} \right) \text{ мм.}$$

2.8. Висновки до розділу 2

У технологічній частині ДП:

- визначена технологічність конструкції;
- розроблені схема складального складу і технологічна схема складання;
- спроектовано технологічний процес складання;
- розраховано точність складання;

Конструкція вимірювального перетворювача технологічна і її можна впровадити у виробництво.

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. Разработка и исследование комплекса образцовых средств для измерения, обработки и представления результатов определения метрологических характеристик тензорезисторных датчиков: Отчет/ Свердловский филиал ВНИИМ; Науч, руководитель темы М.М.Лупинский. - Свердловск, 1983.- 79 с.
2. Методы обработки результатов наблюдений при измерениях. Труды метрологических институтов СССР. - Вып.134 (194). - М.-Л.: Изд.стандартов, 1972. 118 с.
3. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. - К.: Наукова думка, 1975 - 704 с.
4. Тензометрия в машиностроении. /Под редакцией Р.А.Макарова. - М.: Маши-ностроение, 1975 - 288 с.
5. Левченко Т.П. Выбор рационального поперечного сечения балки чистого изгиба. - Измерительная техника, 1974, №10, с. 39 - 40.
6. М.М.Лупинский, А.В.Ретивое, Н.Е.Хмельнова Установка высшей точности и государственная поверочная схема для средств измерений деформации. - Измерительная техника, 1987, №2, с. 33 - 35.
7. Стенд чистого згину 3221 СЧВ-20. Технічні умови ТУ 25.06 (Х6 2.774.201 КУ) - 77
8. Бидерман В.Л. Чистый изгиб тонкой полосы. - М.: МВТУ, 1977.
9. Лупинский М.М. Метрологическое обеспечение тензометрии. - Измерительная техника, 1984, №7, с. 45 - 47.
10. МИ 1742-87. Установки для воспроизведения деформации. Методика поверки. Введ с 01.01.88. 1987. - 22 с.
11. ГОСТ 8.207-76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения. Введ. с 01.01.77. 1976. - 8 с
12. ГОСТ 21616-91. Тензорезисторы. Общие технические условия. Введ. С 25.04.91. - 47 с. Группа П18.

					<i>ПЗ ПМ6103.000</i>	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

13. Дайчик М.Л. Тензометрические приборы и системы. - Измерительная техника, 1984, №7, с. 42 - 43.
14. Веселый Г.З., Дайчик М.Л. Методы и средства определения метрологических характеристик термостойких тензорезисторов. - В кн.: Методы исследования напряжений в конструкциях. - М.: Наука, 1976, с. 24 - 31.
15. Немец И. Практическое применение тензорезисторов. - М.: Энергия, 1970. - 144 с.
16. Рузга З. Электрические тензометры сопротивления. - М.: Мир, 1964. - 356 с.
17. Пучкин Б.И. Приклеиваемые датчики сопротивления. - М.-Л.: Энергия, 1966-88 с.
18. ГОСТ 8.207-76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения. Введ. с 01.01.77. 1976. - 8 с.
19. Lupinskiy M.M. Состояние и перспективы совершенствования метрологического обеспечения деформаций. - Измерительная техника, 1982, №9 с. 23 25.
20. ГОСТ 8.543-86. Государственная поверочная схема для средств измерений деформации. Введ. с 01.01.87. 1986. - 4 с.

ДОДАТКИ

					ПЗ ПМ6103.000	Арк
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		